

Treball de Fi de Grau

Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

Disseny d'una bicicleta d'enduro

MEMÒRIA

Autor: Agustí Cirera Arasa
Director: Emilio Angulo Navarro
Convocatòria: Gener 2019



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resum

Aquest treball consisteix en dissenyar el quadre d'una bicicleta d'enduro que sigui competitiu al mercat actual. En primer lloc cal explicar que l'enduro és una modalitat amb bicicleta que es practica a la muntanya i consisteix en fer les pujades pedalant amb els teus propis mitjans i fer baixades com les de descens per senders tècnics amb importants desnivells, roques, arbres, arrels... És per això que la bicicleta utilitzada ha de complir amb certs requisits en el pes, facilitat i comoditat a l'hora de pedalar, molta resistència als impactes i estrebades fortes, fàcil maniobrabilitat en les baixades, estabilitat a grans velocitats, etc.

Primer de tot es fa un anàlisi de les bicicletes que actualment hi ha al mercat: sistemes de suspensió, materials, geometries, parts del quadre i altres components.

Després, s'utilitza el programa Linkage per optimitzar els valors del sistema de suspensió i la geometria de la nostra bicicleta (reach, anti-squat, leverage-ratio, retrocés de pedal...) Això ens permet dissenyar un model adaptat a les necessitats i exigències del pilot.

Seguidament, un cop tinguem aquests valors optimitzats, es passa al disseny 3D amb el Solid Works utilitzant les geometries i les dades obtingudes amb el programa anterior. En aquesta fase ja es dona forma a la bicicleta tenint en compte que es pugui fabricar a nivell industrial, que no tingui problemes de dimensionament i que sigui funcional i optimitzada.

A continuació, es passa a analitzar la bicicleta obtinguda al Solid Works amb el programa Ansys Workbench per saber si compleix amb els requisits de resistència i rigidesa desitjats.

Finalment, utilitzant el programa Keyshot, es creen uns renders per mostrar el resultat final amb unes imatges més reals. S'han afegit els components (rodes, manillar, seient, ...) que s'ha cregut necessari per donar una imatge de la bicicleta més complerta i real.

El resultat final ha estat un model de bicicleta resistent a les exigències requerides per al seu ús, amb una geometria molt actual i radical, uns paràmetres d'eficiència de pedalada i frenada molt optimitzats. Un aspecte a millorar seria el pes resultant del quadre, que ha sigut de 5,7 kg, una mica massa elevat per aquest tipus de bicicleta. En un futur projecte es podria millorar aquest aspecte reduint material de les parts que sofreixen menys tensió i deformació.

Sumari

SUMARI	4
1. PREFACI	7
1.1. Motivació	7
1.2. Requeriments previs.....	7
2. INTRODUCCIÓ	8
2.1. Objectius del projecte	8
2.2. Abast del projecte.....	8
3. TEORIA SOBRE LES BICICLETA	10
3.1. Parts d'una bicicleta de doble suspensió.....	10
3.2. Parts d'un quadre de doble suspensió	22
3.3. Funcionament, efectes i paràmetres característics de les suspensions posteriors.	23
3.3.1. SAG.....	24
3.3.2. Pedal kickback o retrocés de pedal	24
3.3.3. Anti-rise o compressió per frenada	25
3.3.4. Squad	26
3.3.5. Anti-Squad	27
3.3.6. Leverage Ratio	27
3.4. Tipus de basculants del darrere	28
3.4.1. Monopivot	28
3.4.2. Monopivot articulat	29
3.4.3. Punt de Pivot Virtual	30
3.4.4. Horst Link.....	32
3.4.5. Amortidor flotant.....	33
3.4.6. Active Bracking Pivot (ABP).....	34
3.5. Materials de construcció dels quadres de bicicleta	36
3.5.1. Avantatges i inconvenients dels materials més utilitzats per la construcció de quadres	37
3.6. Processos de fabricació de quadres de metall	38
3.6.1. Hidroformació	38
3.6.2. Conificat.....	39
3.6.3. Soldadura TIG	40

4. ESPECIFICACIONS	41
5. BICICLETA DISSENYADA	42
5.1. Elecció del material de fabricació	42
5.2. Elecció del sistema de suspensió	43
5.3. Geometria del quadre de la bicicleta.....	44
5.4. Paràmetres de la bicicleta obtinguts amb el programa Linkage	48
5.4.1. Anti-rise (25% SAG de la forquilla).....	49
5.4.2. Leverage Ratio	50
5.4.3. Anti-Squad (25% SAG de la forquilla)	51
5.4.4. Retrocés de pedal (pedal kickback)	54
5.5. Parts de la bicicleta a les que s'ha d'adaptar el disseny	56
5.5.1. Amortidor	56
5.5.2. Forquilla i direcció	57
5.5.3. Rodaments del basculant.....	58
5.5.4. Rodes, casset i frens	59
5.5.5. Pedaler	60
5.5.6. Altres parts que s'han tingut en compte per un correcte funcionament.....	60
5.6. Disseny 3D amb Sòlid Works.....	62
5.7. Anàlisi amb elements finits	63
5.7.1. Criteri utilitzat.....	63
5.7.2. Forces de reacció pel criteri de les 5G.....	65
5.7.3. Ansys Workbench.....	67
5.7.3.1. Bieleta	67
5.7.3.2. Tirant.....	69
5.7.3.3. Beina	70
5.7.3.4. Triangle principal	71
5.8. Resultat final	74
6. PLANIFICACIÓ	77
7. IMPACTE AMBIENTAL	78
8. PRESSUPOST	80
CONCLUSIONS	81

AGRAÏMENTS	83
BIBLIOGRAFIA	84
Referències bibliogràfiques	84
Bibliografia complementària	85

1. Prefaci

1.1. Motivació

Des de ben petit m'ha agradat el món del motor i la mecànica.

Ja vaig fer el treball de recerca de segon de batxillerat sobre la conversió d'una bicicleta rígida a una de doble suspensió, tant la part escrita com la fabricació real d'un prototipus en acer. Sóc un apassionat del món de les dues rodes i estic federat des del 2011. Vaig començar competint en curses de descens durant 4 o 5 anys i més tard em vaig passar a la modalitat d'enduro. En les curses de descens et remunten mecànicament mentre que a l'enduro has de pujar amb els teus propis mitjans. És per això, que és important l'eficiència i la comoditat a l'hora de pedalar sobre la bicicleta.

És per la meua gran afició a aquest esport que m'agradaria dissenyar una bicicleta que pogués estar a nivell de competició, inclús millorar alguns paràmetres geomètrics fent-la més radical i avançada al seu temps.

També me n'he adonat que hi ha molts aspectes, en el món del disseny de bicicletes, que encara són millorables donat que està en constant canvi i evolució. La idea d'aquest treball és dissenyar una bicicleta adaptada a un tipus de pilot, millorant els seus punts febles i tenint en compte el terreny per on es farà servir. Per exemple, fer una bicicleta que tingui més eficiència de pedaleig si el pilot no està molt fort, o bé, fer una bicicleta estable si s'ha de fer servir per bikepark (zones amples i amb girs oberts).

1.2. Requeriments previs

Amplis coneixements sobre el món de la bicicleta i una experiència notable pel que fa a pilotatge en diferents tipus de bicicleta.

Es molt important saber quines són totes les parts d'una bicicleta amb tots els seus components i mides perquè a l'hora de dissenyar el quadre, tots aquest components siguin adaptables al disseny fet. També s'ha de saber quins tipus de sistemes de suspensió hi ha, com funcionen, quins són els avantatges i inconvenients de cadascun d'ells...

És molt recomanable haver treballat com a mecànic de bicicleta o haver tingut una experiència en fer reparacions a diferents tipus de bicicleta per tindre una orientació general de les diferents parts, mides i components.

2. Introducció

2.1. Objectius del projecte

Dissenyar un quadre d'una bicicleta d'enduro que sigui competent al mercat actual i que pugui aportar algunes millores. La bicicleta dissenyada ha d'adaptar-se el millor possible a l'anatomia del pilot i a les seves habilitats, en aquest cas a una persona de 1,80 metres d'alçada amb una habilitats tècnica notable però amb un nivell físic que pot ser millorat.

La idea principal seria agafar components actuals del mercat (forquilla, amortidor, rodes, frens...) i adaptar-los a un quadre amb una geometria actualitzada, radical i que et proporcionï una bona eficiència de pedaleig així com un bon comportament en tot tipus de baixades tècniques.

2.2. Abast del projecte

Últimament s'ha avançat molt en aquest món i en línies generals s'han anat seguint les tendències pel que fa a les geometries i sistemes de suspensió que s'han anat posant de moda i que resulten més efectius. El que es pretén fer es agafar les mesures de referència d'aquestes geometries que es fan servir avui en dia, i fer una bicicleta totalment nova que es pogués adaptar bé al mercat actual i a les necessitats i exigències dels pilots que competeixen en aquesta modalitat

El primer que es voldria fer es l'estudi cinemàtic de la suspensió del darrera (Model 2D):

- Recorregut de la suspensió
- Interaccions en la pedalada i la frenada
- Relació entre el recorregut de la roda i de l'amortidor per cada tram de recorregut.
- Trajectòria de la roda del darrera

El següent seria l'estudi geomètric del quadre (Model 2D):

- Angle d'atac de la forquilla
- Altura eix de pedaler
- Distància entre eixos de les rodes
- Inclinació de la tija del seient
- Reach: distància horitzontal entre l'eix de pedaler i la direcció
- Stack: distància vertical entre l'eix de pedaler i la direcció
- Distància entre eix del darrera i eix de pedaler
- Distància de l'eix de pedaler a l'eix de la roda del darrera

Seguidament, utilitzant totes les mides i punts obtinguts en el programa 2D, es duria a terme el dibuix en 3D de les diferents parts del quadre (beina, triangle principal, tirant i bieleta). S'utilitzaria un arxiu de Solid Works per cada peça per poder acabar fent un assemblatge de totes les parts. En aquest apartat es donaria la forma del quadre sempre aplicant tota la informació obtinguda en el programa de modelatge 2D i tenint en compte que es pugui fabricar a nivell industrial.

Per últim, es faria un estudi dinàmic i la simulació de la resistència del model amb elements finits. En aquest apartat s'analitzaran les quatre parts del quadre per separat, aplicant les diferents forces que ha de resistir el quadre en les condicions més extremes d'ús en situacions reals de pilotatge.

L'estudi del model 2D es farà amb el programa Linkage. El model 3D es farà amb el programa Sòlid Works i s'utilitzarà l'ANSYS Workbench per fer l'anàlisi d'elements finits.

3. Teoria sobre les bicicleta

3.1. Parts d'una bicicleta de doble suspensió

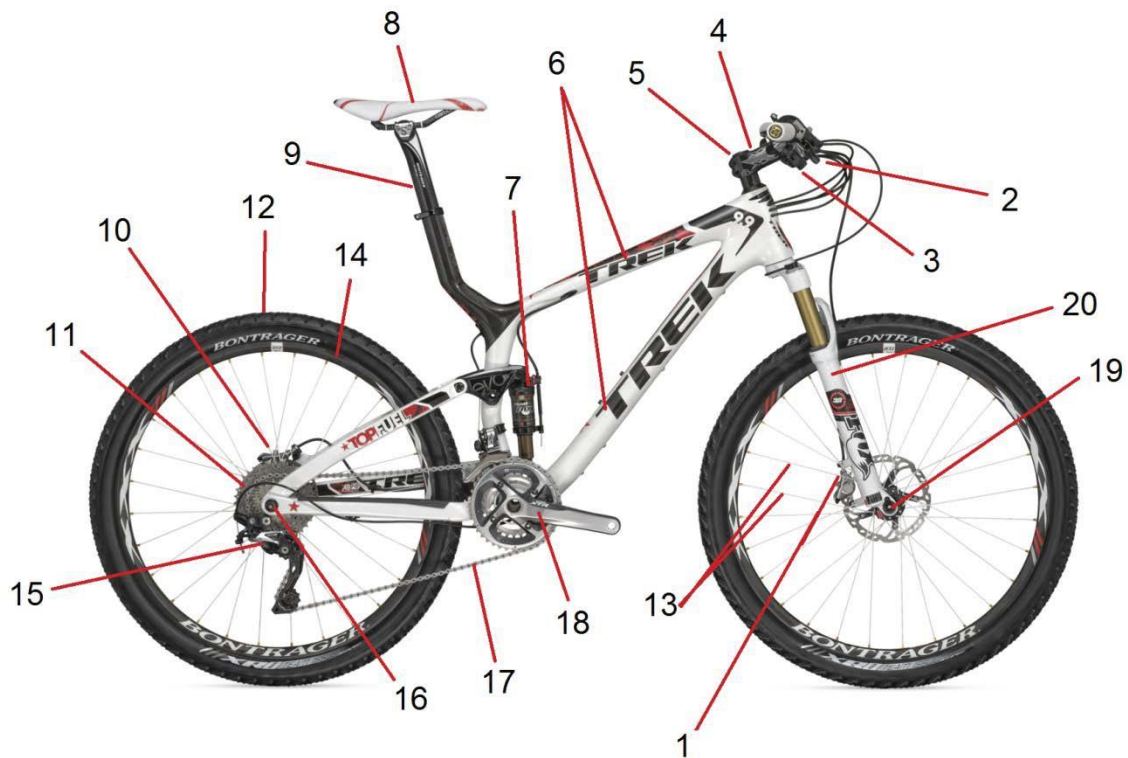


Figura 1: Components d'una bicicleta de doble suspensió. (Trek)

Pinça de fre (1):

N'hi ha de sabata, que creen fricció contra la llanda per frenar, així com de disc i de tambor en poquíssims casos. Els frens de disc poden ser hidràulics o mecànics segons el seu tipus d'accionament. Els "V Brakes" són els més senzills i són d'accionament mecànic a la llanda, també n'hi ha d'accionament hidràulic a la llanda amb més potència de frenada. Actualment s'estan perdent els "V Brakes" donant pas als frens de disc hidràulics, atès que tenen una major capacitat de frenada en un menor temps, encara que necessiten un major manteniment. Els hidràulics poden ser de dos o de quatre pistons.



Figura 2: Fre mecànic a la llanda o V brakes (esquerra) i fre mecànic de disc (dreta)



Figura 3: Fre hidràulic a la llanda (esquerra) i fre hidràulic de disc (dreta)

Manetes de fre (2):

Són els dispositius que et permeten accionar els frens i tenen forma de palanca per ser més eficaços. N'hi ha de mecàniques que estiren un cable d'acer per accionar el fre o bé d'hidràuliques que bomben oli per donar pressió i activar el fre.



Figura 4: Maneta hidràulica (esquerra) i maneta mecànica (dreta)

Disc de fre(10):

Els discs de fre poden ser de dos tipus segons el seu enganxament a la boixa de la roda: amb sis cargols o amb una corona dentada també anomenats center lock.

Generalment tenen un millor comportament els de corona dentada ja que el disc està format per dues parts i té un comportament més flotant i suau.



Figura 5: Disc de 6 cargols (esquerra) i disc center lock (dreta)

Palanques de canvi (3):

Són els mecanismes amb què canvis de velocitats. Les dues marques més conegudes són Shimano i SRAM. Poden activar-se per mitjà de un puny giratori (Gripshift), per palanques tipus gallet o bé per manetes de fre mòbils. En les bicicletes actuals d'enduro solen ser de 11 o 12 relacions ja que normalment només s'utilitza un plat.



Figura 6: Palanca de canvi Shimano XT

Casset (11):

És el conjunt de pinyons que permeten el canvi de velocitats. Mentre més gran el pinyó més fàcil és el pedaleig. Els més reconeguts són Shimano i SRAM però no són necessàriament compatibles l'un amb l'altre.

El casset amb més potencial en l'enduro és un de 12 relacions amb 10-50, sent 10 el numero de dents del pinyó més petit i 50 el del numero de dents del gran. També és força comú el casset d'11 relacions.



Figura 7: Casset Sram XX1 Eagle de 12 relacions

Desviador posterior o canvi del darrere (15):

És el responsable de fer els canvis de velocitats en la part posterior. Els més reconeguts són Shimano i SRAM els quals no són compatibles entre si. En els plats també es pot troba el desviador davanter. El canvi de pinyó, també anomenat canvi del darrere, pot arribar en algunes bicicletes fins a 12 relacions, per altra banda, el canvi de plat, també anomenat canvi del davant, pot arribar en algunes bicicletes fins a tres relacions.



Figura 8: Canvi del darrere Shimano Saint

Plats, bieles i pedals(18):

Està integrada per les bieles, els plats (d'un a tres en el cas de bicicletes de muntanya) i l'eix que uneix una biela amb l'altra. Els plats més petits són de 20 dents i les més grans poden arribar a les 48. Actualment, les bicicleta d'enduro solen utilitzar només un plat amb un nombre de dents comprés entre 28 i 34. Mentre més petit és el plat més fàcil és pedalar però menys pots corre i a l'inrevés. La mida de les bieles sol estar compresa entre 165 i 175 mm per les bicicleta de muntanya. Pel que fa als pedals, es poden trobar el pedals automàtics, els quals enganxes les sabates directament al pedal per mitjà d'una peça metàl·lica anomenada 'calapeu'. També estan els pedals de plataforma que no tenen cap tipus d'enganxament directe amb el peu més que una sèrie de pius que eviten que el peu llisqui amb el pedal.



Figura 9: Pedals automàtics Shimano (esquerra), pedals de plataforma Shimano (dreta)



Figura 10: Plat i bieles Sram X0

Cadena (17):

Encarregada de transmetre la potència dels pedals a la roda. Depenent del nombre de pinyons que hi hagi, la cadena serà d'un gruix o un altre. Com en el cas dels pinyons i els canvis, les cadenes Sram i Shimano no solen ser compatibles entre si.



Figura 11: Cadena Sram X01

Potència i manillar (4):

Pel que fa a les potències, n'hi ha de dos tipus, les planes i les anomenades de doble alçada, que s'aixequen per sobre de la tija del manillar. Les primeres donen una posició més aerodinàmica i es fan servir més en les bicicleta de carretera, les segones donen una posició més alta que millora el control i proporcionen una conducció més còmoda. També n'hi ha d'integrades que són les que estan unides directament a la platina superior de les forquilles de descens enlloc d'anar al tub de direcció. Aquestes últimes proporcionen més rigidesa alhora de fer girs bruscs o bé en les caigudes, però només són compatibles amb forquilles de doble platina.



Figura 12: Potència subjectada a la tija (esquerra) i potència integrada (dreta)

Pel que fa als manillars, poden estar fabricats amb alumini o fibra de carboni. Aquest segons són més lleugers i absorbeixen millor les vibracions, per contra, tenen un preu més elevat i són menys resistents als impactes. L'amplada d'un manillar per una bicicleta d'enduro sol oscil·lar entre els 740 i els 800 mm. Un altre tret característic dels manillars és l'elevació dels extrems (on s'agafen les mans) respecte al punt per on es subjecta a la potència (punt mig del manillar). Aquesta alçada pot variar dels 10 als 50 mm per una bicicleta d'aquesta modalitat. El diàmetre del tub del manillar no és constant en tota la seva longitud, sent més petit en els extrems (uns 22 mm) i més ample en la zona central (uns 32 mm).



Figura 13: Manillar Renthal de fibra de carboni

Direcció (5):

És la unió de la potència amb la tisorà per la direcció. Gairebé tots usen el sistema aheadset (sistema de direcció que prescindeix de rosca en el tub de direcció, aquesta se subjecta gràcies a la potència) encara que en bicicleta més econòmiques és possible trobar els models de rosca. És més fàcil ajustar el primer però no ofereix l'opció de canviar l'altura del manillar. Vénen en diferents longituds i angles per obtenir una posició adequada del ciclista a la bicicleta segons la modalitat que es practica. Solen funcionar amb rodaments i en alguns casos amb coixinets de fricció.



Figura 14: Direcció aheadset FSA

Amortidor posterior (7):

N'hi ha de tres tipus. Els d'aire són molt lleugers però tendeixen a ser poc sensibles a obstacles petits. Els de molla, molt sensibles a qualsevol tipus d'obstacle i a més molt resistents a cops forts, encara que són considerablement més pesats que els d'aire. Finalment i ja gairebé desapareguts, els elastòmers que utilitzen una goma com amortidor.



Figura 5: Amortidor Fox X2 2018

La forquilla de suspensió (20):

És la responsable de la direcció i de la suspensió del davant. Ja són molt rares les rígides, és a dir, les bicicleta que no tenen suspensió davantera. Pel que fa a suspensions hi ha diverses marques reconegudes com RockShox, Fox, Marzocchi, Manitou, Ohlins etc. Els recorreguts de la forquilla varien dels 80 mm als 203 mm. Els recorreguts més habituals per bicicleta d'enduro estan compresos entre 150 i 180 mm. Moltes forquilles són regulables, és a dir, es poden bloquejar perquè no esmorteixin o bé regular-les perquè tinguin una progressivitat o una altra, també es pot controlar la velocitat del rebot.



Figura 16: Fox 36 Kashima (2018)

Quadre (6):

És l'ànima de la bicicleta. És el component més important ja que ha de ser de la mida correcta per l'alçada del pilot. N'hi ha d'alumini i han de ser de les sèries 6000 o 7000 per garantir la qualitat. La gran majoria de quadres d'alumini és modelen per hidroformació, donant bicicletes amb formes més aerodinàmiques i més lleugeres. Els d'acer són quadres molt resistents, encara que no són lleugers. Els de titani són una barreja de propietats entre l'acer i l'alumini i tendeixen a ser cars. Finalment, els de fibra de carboni, molt lleugers i cars. Aquest és el material més innovador amb el que es modelen les bicicletes de gran qualitat actualment. Les parts d'un quadre de bicicleta de doble suspensió són el triangle principal i el basculant, format per una o varies peces.



Figura 17: Quadre Unno Burn de carboni

Seient (8):

El seient és la part de la bicicleta on et seus per pedalar. Segons la modalitat que practiques té una forma i es col·loca a una alçada o una altra per fer còmoda la pedalada i els moviments que has de fer per superar els obstacles.



Figura 18: Seient Specialized

Tija (9):

La tija és la part de la bicicleta que uneix el seient al quadre. Normalment són d'alumini i les més lleugeres soolen ser de fibra de carboni. Tenen diferents diàmetres segons el model del quadre de la bicicleta. Actualment hi ha un tipus de tija, anomenada telescòpica, que pot pujar i abaixar-se automàticament mitjançant un polsador al manillar. Aquesta innovació es quasi imprescindible en les bicicletes d'enduro ja que necessites el seient a la mida del pilot per pujar pedalant còmodament i necessites tenir-lo el més avall possible en les baixades per poder tenir més mobilitat sobre la bicicleta i

poder-la controlar millor. Els recorreguts de les tiges telescòpiques van dels 85 mm als 170 mm. El diàmetre exterior que s'introdueix al quadre pot ser de 30,9 o 31,6 mm sent aquest segon el més modern i més utilitzat.



Figura 19: Tija telescòpics KS

Pneumàtic (12):

N'hi ha de diferents amplades i amb diferents dibuixos depenent de la modalitat que practiques, les més primes i llises són les de carretera i les més gruixudes i amb més tacs són les de descens o trial. També hi ha models específics per ser davant, darrere o mixtes. Els últims que han sortit al mercat són els models sense càmera anomenats tubeless que precisen d'una llanda especial per ser instal·lats sense càmera.

En el cas de l'enduro les amplades dels pneumàtics solen estar compreses entre 2,3 i 2,6 polsades, sent l'amplada del pneumàtic del davant sempre igual o més gran que la del darrera. Hi ha pneumàtics per rodes de 26, 27,5 i 29 polsades i els més utilitzats són els tipus tubeless ja que redueixen les possibilitats de punxar.



Figura 20: Pneumàtics maxxis

Radis (13):

Uneixen la llanda amb l'eix de la roda i són els responsables del correcte alineament d'una roda. Estan fets d'acer i els terminals (femelles amb què es tensionen) solen ser de bronze o alumini. Es mesuren per calibres i alguns tenen un gruix variable per reduir el pes o augmentar la resistència. El nombre de radis per una llanda d'enduro sol estar comprés entre 28 i 36 radis.



Figura 21: Radis Dt Swiss

Llanda (14):

Són d'alumini o bé de fibra de carboni. N'hi ha de diferents amplades. Algunes tenen un recobriments ceràmic a les vores per millorar l'eficiència dels frens de sabata. Les més utilitzades actualment en enduro són les rodes d'alumini, ja que tenen una major resistència que les de carboni tot i que transmeten més vibracions. L'amplada interior de les llandes d'enduro sol estar compresa entre els 28 i 35 mm.

Pel que fa a la mida de les rodes, el més popular en el món de l'enduro són les de 27,5 i les de 29 polsades. Les de 27,5 polsades tenen una pas per corba tancada més ràpid i una major maniobrabilitat. Per altra banda, les de 29 polsades tenen una major estabilitat, són més ràpides en trams rectes i tenen una major eficiència a l'hora de rodar.

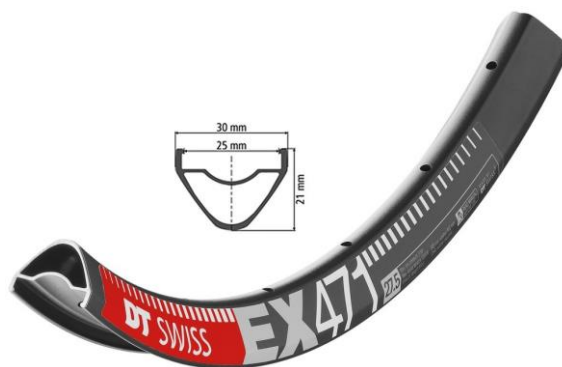


Figura 22: Llanda DT Swiss EX 471

Boixa roda del darrere (16):

És el conjunt de rodaments i eix sobre els quals gira la roda. En ell es col·loca el casset, el disc i també arriben els radis de la roda del darrere. Les mides més estàndards de boixes són la tipus boost que vol dir que l'amplada és de 148 mm i les més habituals que són de 142 mm de gruix. La boixa tipus boost millora la rigidesa de la roda ja que els radis estan més inclinats i aquesta flecta menys.



Figura 23: Boixa boost de la roda del darrera Shimano Saint

Boixa roda davantera (19):

És el conjunt de rodaments i eix sobre els quals gira la roda. En ell es col·loca el disc i és on arriben els radis de la roda del davant. Hi ha la boixa tipus boost que significa que té una amplada de 110 mm en comptes dels habitual 100 mm. Això millora la rigidesa de la roda ja que els radis estan més inclinats i aquesta flecta menys.



Figura 24: Boixa roda davanter Shimano Saint

3.2. Parts d'un quadre de doble suspensió

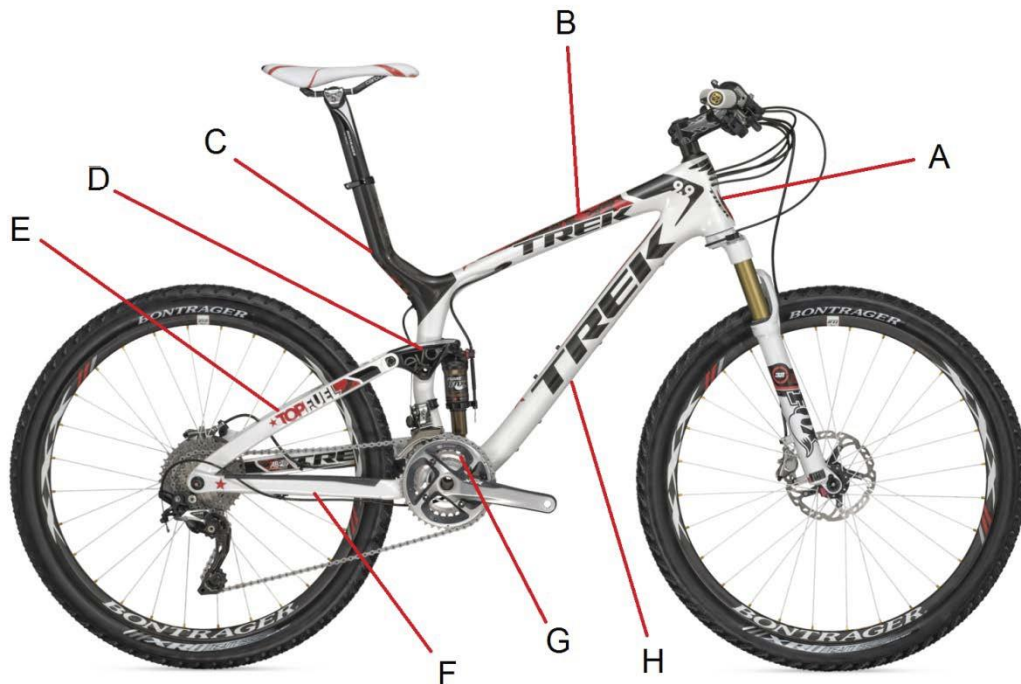


Figura 25: Parts d'un quadre de doble suspensió. (Trek)

Tub frontal o de direcció (A):

En aquest es col·loquen les cassoles de direcció que són l'articulació sobre la qual gira la direcció. La gran majoria de bicicletes actuals fan servir el sistema aheadset (els rodaments de la direcció s'adapten directament al quadre o bé per mitjà d'unes cassoles) i ja molt poques fan servir el de rosca. Les peces de la direcció han de ser compatibles amb el tub frontal, és a dir, cada quadre ha d'utilitzar els rodaments o cassoles de direcció específiques per a ell.

Tub superior (B):

És la part superior del quadre. És el que s'utilitza normalment per trobar la talla correcta del quadre.

Tub del seient (C):

És sobre el que entra la tija del seient. Cal assegurar que la tija entri la profunditat mínima especificada marcada en ell. De no ser així es pot fissura el quadre.

Bieleta (D):

És el braç de suspensió que s'utilitza per connectar l'amortidor i el triangle principal amb la part posterior de la bicicleta, és a dir, amb el tirant.

Tirants (E):

Son els tubs que van de la bieleta (braç de la suspensió) a les punteres de la roda del darrere.

Beina (F):

És la que va de l'eix de pivot principal (prop de l'eix de pedaler) cap a la roda del darrere. És rígid en les bicicletes que no tenen suspensió i articulat en les de suspensió al darrere.

Suport de l'amortidor (G):

Diversos suports que son per fixar l'amortidor al quadre.

Tub oblic (H):

Uneix el tub frontal amb la caixa de pedaler, sol ser el més llarg i el més robust de tota la bicicleta.

3.3. Funcionament, efectes i paràmetres característics de les suspensions posteriors

Bàsicament una suspensió té tres funcions principals:

- 1- Mantenir les rodes en contacte amb el sòl en tot moment.
- 2- Procurar que les parts de la bicicleta que estan ancorades a les rodes, és a dir, tot allò que no són les rodes i la part fixa a elles, (que s'anomena massa no suspesa) es mantingui en una trajectòria rectilínia respecte al terra.
- 3- Amortir els impactes que és puguin produir sobre la bicicleta durant la marxa.

Les suspensions disposen de dos elements, el ressort i l'amortidor.

El ressort té com a funció absorbir l'energia que es produeix durant el desplaçament de la massa suspesa (rodes i la part de la suspensió fixa a elles), per tornar a la posició inicial

un cop ha cessat la causa que produeix el desplaçament (sots, inèrcia en accelerar o frenar...). Aquest pot ser una molla feta d'algun material metàl·lic o en el cas dels amortidors d'aire, la pròpia compressió de l'aire dintre una càmera tancada fa de ressort.

Per altra banda, l'amortidor evita que les suspensions es vagin estenent i comprimint constantment mentre la bicicleta circula, actuant com un fre. Aquest està compost per uns circuits hidràulics on és fa passar un fluid incompressible per unes vàlvules petites que regulen la velocitat de pas.

Mentre el recorregut del ressort depèn de la força que se li apliqui, l'amortidor depèn de la velocitat del desplaçament. Un ressort es comprimeix més conforme augmenta la càrrega sobre ell, un amortidor s'endureix quan augmenta la velocitat del desplaçament. Això és molt important, perquè separa la regulació d'ambdós sistemes depenent del problema. Si aquest està causat per la força que provoca el moviment (topalls o falta d'aprofitament del recorregut en la suspensió), és el ressort el factor a considerar. Si, per contra, el problema és la velocitat de treball (oscil·lacions, rebots, moviments paràsits, etc.) és l'amortidor el sistema a regular.

Les llargades dels amortidors poden anar de 6,5 polsades (165,1 mm) a 10,5 polsades (266,7 mm) i les llargades de la carrera arriben fins als 90 mm, tot depenent de les necessitats de la bicicleta i del sistema de basculació.

3.3.1. SAG

El SAG és l'enfonsament previ de la suspensió provocat pel propi pes del ciclista, és a dir, quan es puja a una bicicleta, les suspensions d'aquesta s'haurien d'enfonsar un determinat recorregut de l'amortidor. El SAG es fa servir com a paràmetre per configurar les suspensions segons la modalitat que es durà a la pràctica i el pes del pilot. Aquest fenomen serveix per evitar enlairaments de les rodes en forats o canvis de rasant. En la modalitat d'enduro es recomana que el SAG sigui d'aproximadament el 25-30% del recorregut total de l'amortidor.

3.3.2. Pedal kickback o retrocés de pedal

La compressió de la suspensió produeix un allargament (o escurçament) de la longitud de la cadena (distància entre l'eix de pedaler i l'eix de la roda del darrere), generant indesitjables estirades de cadena cap enrere, la qual cosa fa que els pedals tendeixin a retrocedir. Un punt important a l'hora de dissenyar un sistema de suspensió eficaç és la minimització del retrocés de pedal (pedal kickback). L'eix de pedaler i el pivot principal

normalment no estan a la mateixa alçada, per això la cadena s'allarga o s'escurça durant la compressió de la suspensió. Si la cadena s'allarga, aquesta fa que girin les bieles bruscament cap enrere, això se li diu pedal kickback o backpedal. Si al contrari, la longitud de cadena es redueix, la cadena perd la seva tensió i causa un pedaleig en buit. Aquest efecte, del qual molt poques vegades es parla, es denomina pedal kickforward o forwardpedal, i produeix una interrupció del ritme del pedaleig. Aquest efecte només és apreciable a partir del 4rt o 5è grau de desplaçament de les bieles. L'efecte que provocarà el backpedal o el forwardpedal també dependrà del recorregut de la roda del darrere, com més es comprimeix la suspensió major serà aquest efecte. Pedalant de manera normal, els actuals dissenys de basculants, habitualment ofereixen poca diferència en la longitud de cadena, així que l'efecte negatiu resulta inapreciable. La manera de reduir aquest fenomen és aproximant, el màxim possible, el punt de pivot principal a l'eix de pedaler. Aquest fenomen també variarà molt segons el tipus de sistema de suspensió de la bicicleta, ja que cada un produeix una trajectòria de la roda del darrere respecte al triangle principal que influirà molt.

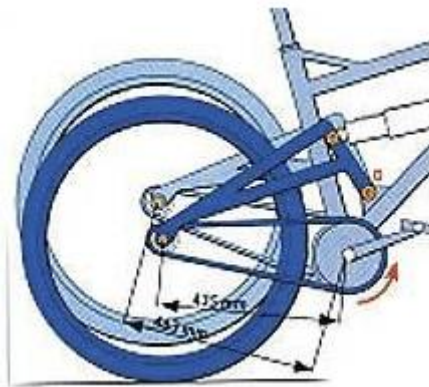


Figura 26: variació de longitud de cadena

3.3.3. Anti-rise o compressió per frenada

La compressió per frenada o anti-rise es produeixen per un canvi dinàmic en el pes existent sobre les suspensions. Si una bicicleta roda amb una velocitat constant sobre un terreny pla, la roda davantera suporta aproximadament un 40% del pes total i la roda del darrere un 60%. Al frenar, les forces normals de les rodes canvien de distribució fent que la roda del davant passi a suportar aproximadament un 80-90% del pes total, que resulta en la compressió de la forquilla. Al mateix temps la càrrega sobre la roda del darrere es redueix fins un 10-20%, resultant una extensió de l'amortidor del darrere. En ocasions, la roda del darrere pot inclús deixar de fer contacte amb el terra provocant així una càrrega sobre la roda del davant del 100% del pes del pilot més el de la bicicleta.

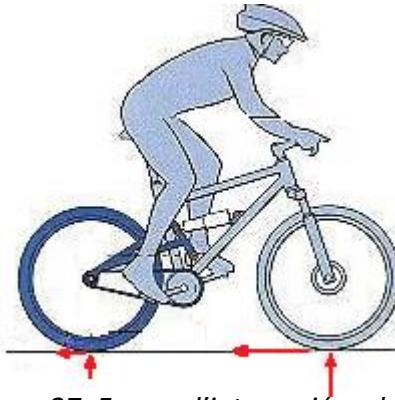


Figura 27: Forces d'interacció en la frenada

La geometria neutral o comportament neutral d'una suspensió (anti-rise 100%) és el terme que descriu un disseny amb una configuració, tal que no hi ha moviment entre els membres de la suspensió durant l'acció de la frenada. Una suspensió romandrà neutral si el moment generat per la força de fricció amb el terra és compensa amb el generat per la normal de la roda i no actua cap força sobre la suspensió.

Un anti-rise de menys del 100% ens indica que les forces de frenada interaccionen menys amb l'amortidor, fent que aquest s'estiri per la reducció de força normal en la roda del darrera, això indica una independència entre la frenada i el sistema de suspensió de la bicicleta. Un anti-rise de més del 100% ens indica que l'amortidor és comprimeix quan s'està frenant, millorant la geometria en baixades amb molt desnivell però bloquejant la suspensió. Un anti-rise de menys del 0% (poc habitual) ens indica que la suspensió s'estira per la suma del moment generat per la força de fricció i per la reducció de la força normal sobre la roda.

3.3.4. Squad

El bobbing o squat és la tendència que té una suspensió a comprimir-se durant la pedalada a causa de l'acceleració que es genera. La roda del darrere sofreix un augment de la força normal provocada per l'acceleració del conjunt ciclista més bicicleta i genera un enfonsament de la suspensió.

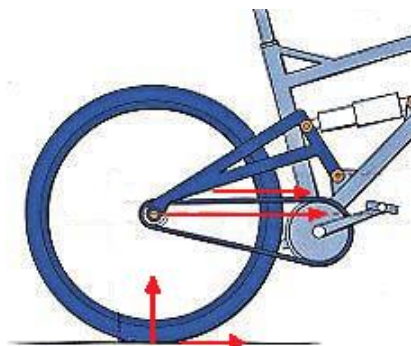


Figura 28: Forces d'interacció en la pedalada

3.3.5. Anti-Squad

L'anti-squad és la compensació del que s'ha explicat anteriorment mitjançant la força de la cadena i el moment que aquesta provoca sobre el basculant de la bicicleta. Com ja s'ha dit, al pedalar i provocar una acceleració sobre la bicicleta, l'amortidor tendeix a comprimir-se per l'augment de la força normal de la roda però el moment provocat per la força de la cadena sobre els pinyons, pot contrarestar aquest efecte. Aquest fenomen es interessant tenir-lo en compte ja que si la bicicleta no es comprimeix quan pedaleges, no perds energia per la compressió de l'amortidor i tens més arrencada.

Més del 100% ens indica que el moment generat a la cadena és més gran que el que genera la normal de la roda i l'amortidor tendeix a extensionar-se. Menys del 100% ens indica que l'amortidor tendeix a comprimir-se ja que el moment generat per la normal de la roda té més influència que el moment generat per la tensió de la cadena sobre basculant. Un anti-squad de menys del 0% ens indica que el moment generat per la cadena també tendeix a comprimir la suspensió a més del propi moment generat per la força normal de la roda. Els avantatges d'un anti-squad de més del 100% es que ens proporciona una pedalada més contundent i amb més arrencada, tot i que sol anar lligat amb un augment del retrocés del pedal. Per contra, uns valors d'anti-squad de menys del 100% ens facilita les pujades tècniques ja que es compressiona l'amortidor i proporciona un major adherència.

En una bicicleta d'enduro ens interessen uns valors d'anti-squad de al voltant del 100% ja que et proporcionen una bona eficiència de pedaleig i no et generen un retrocés de pedal desmesuradament elevat.

3.3.6. Leverage Ratio

El leverage ratio es defineix com la relació entre la compressió de l'amortidor i la del basculant, i varia a mesura que augmenta la compressió de l'amortidor. El leverage ratio d'una suspensió expressa quant es mou l'eix de la roda del darrera verticalment respecte la carrera de l'amortidor. Per exemple, en una suspensió amb un leverage ratio de 3, per cada mil·límetre que es comprimeix l'amortidor, la roda es mourà tres mil·límetres cap amunt. Per tant, si la carrera del nostre amortidor és de 45 mm, el recorregut de la nostra suspensió serà de 135 mm (45x3). En una forquilla, el leverage ratio és de 1, absolutament directe, però això és impossible amb un sistema de suspensió posterior, el qual els valors més idonis s'aproximen a 2.

Per una bicicleta d'enduro es vol un leverage ratio força baix (entre 2,2 i 2,5) ja que això ens proporciona un comportament més sensible de la suspensió, l'amortidor treballa a menys pressió i s'eviten sobreescalfaments de l'amortidor en baixades llargues.

3.4. Tipus de basculants del darrere

Els sistemes de basculació de la roda del darrere d'una bicicleta de muntanya poden ser diversos i cadascun d'ells canvia per complet la sensibilitat i el recorregut d'aquesta. Amb això es poden distingir els següents tipus de basculants que es poden veure actualment al mercat: monopivot, monopivot articulats, Punt de Pivot Virtual (VPP), Horst Link, amortidor flotant i Active Bracking Pivot (ABP). També hi ha sistemes que són una barreja dels anomenats anteriorment com el Zero de Mondraker que és una barreja entre VPP i amortidor flotant. Actualment van sortint més sistemes però de moment els més utilitzats avui en dia són els esmentats anteriorment.

També existeix un tipus de disseny de suspensió de poc recorregut, normalment d'uns tres centímetres, que no té amortidor ni pivots, anomenat Softail. La flexió del material del basculant, normalment de titani o de carboni, és la que permet que el quadre pugui donar una petita amortida al pilot. No s'analitzarà amb detall ja que no pot ser aplicable a bicicletes d'enduro de gran recorregut.

3.4.1. Monopivot

El sistema de suspensió posterior monopivot és el sistema més senzill, donat les seves poques articulacions i elements que posseeix per al sistema d'amortiment posterior.



Figura 29: Suspensió posterior monopivot. (Santa Cruz)

Funcionament: El basculant (d'una peça) pivota al voltant d'una única articulació i ataca directament l'amortidor (Figura 29).

Trajectòria de la roda: Descriu un arc de radi constant com es mostra a la Figura 30.



Figura 30: Trajectòria de la roda en una suspensió monopivot

Comportament: Regressiu en la majoria dels casos. La suspensió es fa més tova a mesura que s'esgota el recorregut. Normalment s'utilitzen amortidors d'aire amb aquest sistema perquè la progressivitat de l'aire compensi la linealitat del sistema.

Avantatges: Disseny compacte amb un sol joc de rodaments, i lleuger. Si el pivot s'ubica pròxim al plat el seu comportament és força equilibrat. Si el pivot està alt, per sobre dels plats, la suspensió serà molt sensible i utilitzada per al descens, en canvi, si el pivot està baix, per sota dels plats, serà més dura al tacte i serà utilitzada per a l'enduro.

Inconvenients: Eventualment fortes interaccions causades pel pedaleig (estirades de cadena) i la frenada (enduriment de la suspensió i balanceig).

3.4.2. Monopivot articulat

El sistema de suspensió posterior monopivot articulat es basa en el mateix funcionament del sistema monopivot però afegint més articulacions.



Figura 31: Bicicleta amb suspensió posterior monopivot articulat. (Kona)

Funcionament: El basculant gira al voltant d'un únic pivot i ataca indirectament l'amortidor, a través d'unes bieletes. Pot tenir 4 o 5 pivots de gir (Figura 31).

Trajectòria de la roda: Descriu un arc de radi constant (Figura 32).

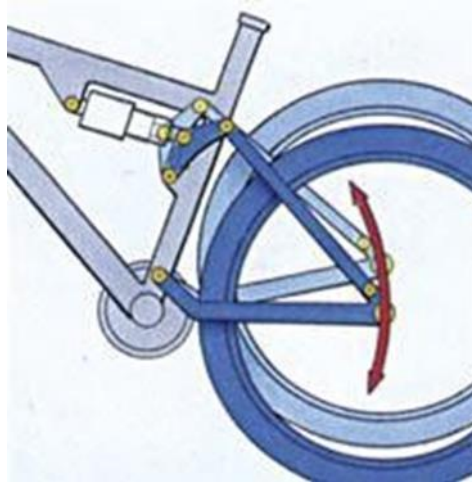


Figura 32: Trajectòria de la roda en una suspensió monopivot articulada

Comportament: Segons el sistema la progressivitat pot ser variable al llarg del seu recorregut.

Avantatges: Les bieletes permeten variar la progressivitat a la suspensió, segons la mida i la forma d'empènyer l'amortidor, però no repercuteix en la trajectòria de la roda posterior. Si el pivot s'ubica òptimament, el seu comportament respecte a la pedalada és molt neutral.

Inconvenients: Semblants a les d'un monopivot, interferències amb la pedalada i la frenada encara que de manera menys notable, segons la ubicació de l'articulació principal i la resta de pivots.

3.4.3. Punt de Pivot Virtual

Aquest sistema de suspensió, també anomenat Virtual Pivot Point (VPP) que es mostra a la Figura 33, ha estat un dels últims en popularitzar-se i ho ha fet de la mà de marques força exclusives com són Santa Cruz i Intense. Aquest sistema és actualment un dels més admirats i elogiats, és tècnicament complex i en tenir bastants eixos i balancins origina un major pes, tot això, queda compensat per la qualitat de les bicicletes i amortidors en què està present.



Figura 33: Suspensió posterior Punt de Pivot Virtual

Funcionament: Les beines i els tirants formen una estructura triangular rígida que es connecta a través de dues bieletes a la meitat davantera del quadre (triangle principal). El punt de pivot virtual es troba en la intersecció formada pels eixos de les dos bieletes i es desplaça amb el temps. No hi ha un pivot principal (fix en el quadre) sobre el qual s'articula el basculant, sinó que aquest resulta flotar en l'aire i canvia de lloc en funció de la compressió de la suspensió. El sistema es basa en equilibrar el moviment descendent de la suspensió al pedalar amb un moviment oposat ascendent de la mateixa força i intensitat, de tal manera que la suspensió quedaria neutralitzada.

Trajectòria de la roda: Les possibilitats són moltes: Al VPP de Santa Cruz, Intense o Lapierre la roda descriu una 'S' com es veu a la Figura 34 (primer es desplaça cap enrere, després cap endavant amb una posició d'equilibri, i de nou cap enrere). En el cas del sistema Mestre de Giant la roda descriu una trajectòria més recta, i en el cas del sistema Zero de Mondraker la trajectòria descriu un arc.



Figura 34: Trajectòria roda en una suspensió VPP

Comportament: Variable segons el sistema.

Avantatges: Mínima interacció amb la pedalada i la frenada, proporcionant més bona sensibilitat. Un dels avantatges d'aquest sistema és que aconsegueix això mantenint una amortida tova. Així mateix, com més fort es trepitgi el pedal més dura estarà la suspensió evitant així l'anomenat bobbing o squat.

Inconvenients: Implica molts rodaments i bieletes que pot augmentar la fricció del sistema, possibles avaries o folgances i té més manteniment. Per això, un dels handicaps d'aquest sistema és que per que funcioni ha d'estar perfectament posat a punt. Així mateix, freqüentment presenten un gran backpedal o forwardpedal, això significa, que si no hi ha un ajust molt fi, l'eficàcia en pedalar es veu lleugerament reduïda. Aquest fenomen no és fàcil de percebre i cal ser molt fi per apreciar-ho. Teòricament aquest sistema no assimila petits sots o sortints del terreny.

3.4.4. Horst Link

El sistema Horst Link és un dels més utilitzats actualment en bicicletes d'enduro. També té algunes variants com el dw-link o el fsr que tenen unes característiques molt similars.



Figura 35: Quadre amb suspensió posterior Horst Link. (YT)

Funcionament: El basculant té diverses articulacions (4 o 5). La clau del sistema és el pivot situat en la beina, per davant de la puntera, anomenat Horst Link (dissenyat per Horst Leitner i patentat per Specialized). Aquest "trenca" la beina i per tant ja no hi ha un braç rígid entre el pivot principal i l'eix de la roda posterior, atorgant mobilitat i independència a la roda del darrere, sobretot del fre (Figura 35). En aquest sistema, la roda del darrere també té un punt de pivot virtual respecte el triangle principal.

Trajectòria de la roda: Arc molt obert, gairebé vertical al terra (Figura 36).

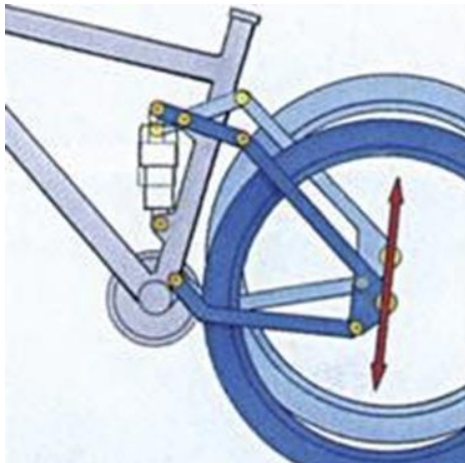


Figura 36: Trajectòria de la roda en una suspensió Horst Link

Comportament: Generalment progressiu. La suspensió s'endureix a mesura que es comprimeix.

Avantatges: Una correcta ubicació dels pivots minimitza les possibles interaccions amb la pedalada i la frenada.

Inconvenients: Pot existir més fricció o folgances en existir més articulacions. També pot requerir més manteniment.

3.4.5. Amortidor flotant

El sistema de suspensió posterior d'amortidor flotant es basa com el seu propi nom indica en un sistema en què l'amortidor no està fix al triangle principal. L'utilitzen marques com Mondraker i Trek.



Figura 37: Suspensió posterior d'amortidor flotant. (Trek)

Funcionament: L'amortidor no està fixat al quadre per cap dels seus dos extrems, sinó que bascula amb el mateix sistema, ja que està ubicat entre dues bieletes com es veu a la Figura 37. L'amortidor pot comprimir alhora per tots dos extrems o comprimir per un i estendre per l'altre.

Trajectòria de la roda: Dependrà del disseny del basculant i no de la ubicació de l'amortidor. Normalment és un arc com es pot veure a la Figura 38.

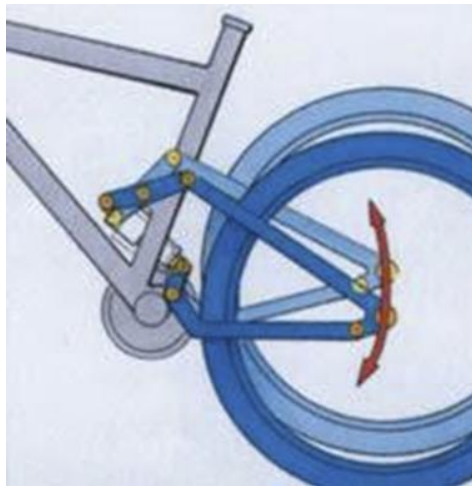


Figura 38: Trajectòria de la roda en suspensió amb amortidor flotant

Comportament: Molt personalitzable. El moviment de l'amortidor des d'ambdós eixos li atorga una sensibilitat enorme. Si l'amortidor es comprimeix per un extrem i s'estén per l'altre, tindrà una esmorteïda més suau, en canvi, si l'amortidor es comprimeix per ambdós extrems l'esmorteïda serà més ràpida i brusca.

Avantatges: Semblants a les d'un Horst Link, a més el dissenyador té un altre factor cinemàtic més amb el qual treballar.

Inconvenients: Semblants a les d'un Horst Link però majors ja que se sumen més pivots (articulacions).

3.4.6. Active Bracking Pivot (ABP)

El sistema de suspensió posterior Active Bracking Pivot també anomenat ABP, es basa en el mateix funcionament del sistema Horst Link amb la diferència que l'articulació es situa a l'eix de la roda posterior en comptes de a la meitat d'una beina.



Figura 39: Suspensió posterior ABP. (Devinci)

Funcionament: L'articulació posterior es situa concèntrica a l'eix de la roda del darrere (Figura 37). Es tracta per tant d'un tipus de monopivot articulat atès que no hi ha articulació entre l'eix de la roda posterior i el pivot principal.

Trajectòria de la roda: Descriu un arc de radi constant, com el de la Figura 38.

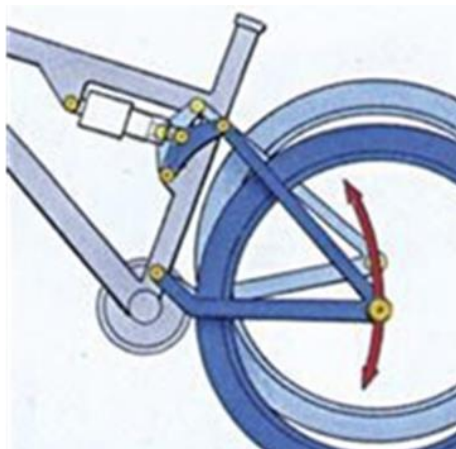


Figura 40: Trajectòria de la roda en una suspensió ABP

Comportament: Segons el sistema la progressivitat pot ser variable al llarg del seu recorregut.

Avantatges: El pivot concèntric amb l'eix de la roda posterior minimitza la interacció amb la frenada i la pedalada, respecte a un sistema monopivot o monopivot articulat.

Inconvenients: Cal extreure per complet el tancament ràpid per desmuntar la roda.

3.5. Materials de construcció dels quadres de bicicleta

Avui en dia els quadres de les bicicleta poden estar fets de una gran varietat de materials, entre els quals es troben els compostos de fibres (de carboni i altres), el titani, l'acer i els aliatges d'alumini. Aquests són els quatre principals, però s'hi podria afegir l'escandi, el magnesi, el beril·li, el plàstic i altres. En cada categoria es poden fer moltes variacions, per exemple, cada aliatge de metall pot variar el percentatge de la seva composició per aconseguir diferents propietats.

Des del punt de vista de materials, la fibra de carboni i altres compostos són els que reben més atenció, però els quadres de metall han evolucionat molt en els últims anys. Amb l'emmotllat amb aigua dels tubs (hidroformació) i el canvi de gruixos en els tubs (conificat) els quadres d'alumini poden tenir formes més aerodinàmiques i reduir-ne el pes, cosa que no era possible amb tubs només extruïts. Des dels anys 80, també s'està utilitzant una tècnica, en l'alumini, anomenada oversize. Aquesta consisteix en utilitzar tubs de major diàmetre que els que s'utilitzaven abans amb l'acer, donant així més resistència i rigidesa als quadres. Els quadres d'acer, que porten fent-se servir des de que la bicicleta es va inventar, han avançat molt també. Alguns dels nous tubs ultra lleugers aconsegueixen un quadre molt fi, gràcies a les millores en els aliatges i tractaments tèrmics.

Per suposat, la majoria dels avenços fets en els materials dintre la indústria de la bicicleta ocorren en competició o en productes recreatius del més alt nivell, tant de carretera com de muntanya. La majoria de les bicicleta que s'utilitzen per moure's d'un lloc a un altre fan servir materials que han demostrat ja el seu rendiment, com l'alumini o l'acer. Es tracta de materials de confiança, assequibles i en cas de l'acer fàcils de reparar. Alguns dels materials que ja han estat utilitzats són els de matriu ceràmica, que també s'usen en aviació, amb fibra de carboni i fins i tot combinant aquests dos material amb fibres de lli.

Els criteris per escollir un material són tant el seu preu com el tipus d'ús que se li donarà a la bicicleta (transport urbà, muntanya, velocitat, salts, etc). Per decidir el material usat en el quadre d'una bicicleta s'ha de tenir en compte que la densitat ha de ser raonablement baixa, perquè no resulti molt pesada. El quadre és el suport estructural de la bicicleta, així que el material amb el qual es construeixi ha de ser fort i tenir una vida útil bastant llarga. Bàsicament no hi ha diferències, pel que fa al material, entre un quadre d'enduro i un quadre de bicicleta normal, l'únic que els diferencia és que el quadre d'enduro està molt més reforçat que l'altre i té una estructura molt més robusta.

3.5.1. Avantatges i inconvenients dels materials més utilitzats per la construcció de quadres

Alumini

És el material de construcció de quadres per excel·lència, ja que és un material lleuger, resistent i amb un cost de fabricació baix. Els inconvenients que té l'alumini és que se sol fracturar pels llocs on estan les soldadures a causa dels esforços als quals està sotmès el quadre, però, això pot solucionar-se reforçant les juntes entre les diferents parts del quadre. Un altre problema causat per la rigidesa d'aquest material és que no absorbeix molt bé les vibracions transmetent-les al ciclista. Malgrat d'aquests inconvenients, el quadre d'alumini es el més utilitzat ja que el públic els demana per la bona relació qualitat-preu que té. Cal destacar que hi ha molts aliatges d'alumini diferents però els més utilitzats per fer quadres de bicicleta són el 6061 i 7005 per la seva bona relació rigidesa-duresa.

Acer

És un material de construcció que no es fa servir molt, en el món de la bicicleta, pel seu elevat pes. Hi ha un aliatge de l'acer anomenat "cromoly" (crom i molibdè) que dona unes prestacions molt bones ja que es tracta d'un material molt flexible i amb una vida útil de desenes d'anys, però, el seu principal inconvenient és l'òxid. Si es té un quadre d'acer s'ha de procurar que no s'oxidi aplicant-hi pintura en les rascades que es produeixin durant l'ús de tal manera que l'aire no doni directament a l'acer.

Acer inoxidable 304

L'aliatge d'acer inoxidable 304 (UNS S30400) és una variació de l'aliatge austenític amb 18% de crom i 8% de níquel, que és l'aliatge més conegut i més freqüentment usat dins de la família dels acers inoxidables per a construcció de quadres de bicicleta. Aquest aliatge d'acer inoxidable presenta una bona resistència a la corrosió, facilitat per ser modificat amb màquines, excel·lent ductilitat i alta resistència amb baix pes, per això, són més utilitzats que els quadres d'acer pur, ja que pesen menys, però tot i així pesen més que els d'alumini.

Fibra de carboni

S'utilitza per a bicicletes d'alta competició degut a que és un material molt més lleuger que l'alumini, no té tanta fatiga com el metall, és bastant resistent, força rígid i se li poden donar formes més aerodinàmiques i rebaixar pes de les parts on no és necessari tant de material. El disseny de quadres amb aquets material depèn molt de l'orientació

de les fibres ja que és juga amb aquesta orientació per fer els quadres més resistents amb el mínim de material possible. Els dos principals inconvenients són: l'elevat preu que comporta el disseny i fabricació de quadres amb aquest material i que són poc resistents als impactes. Amb un quadre d'alumini o d'acer, un cop pot provocar un bony però amb aquest material un cop suficientment fort pot trencar el quadre. És per això, que és reforcen amb proteccions de plàstic als llocs més susceptibles de rebre cops.

Titani

És un material de construcció molt lleuger i amb una elasticitat gran, però, al ser tan elàstic produeix rebots incòmodes alhora de balancejar-se en fer el pedaleig. Un quadre fabricat amb titani dura molt, inclús més que l'acer, però és un material massa car per la producció en sèrie de bicicletes.

3.6. Processos de fabricació de quadres de metall

3.6.1. Hidroformació

La hidroformació és la manera més utilitzada i més rendible de donar forma als metalls dúctils com l'alumini, el coure, aliatges d'acer, acer inoxidable..., és a dir, peces de metall estructuralment tibades i fortes. Una de les principals aplicacions de la hidroformació és la indústria de l'automotor, que el fa servir per fer formes complexes, per produir més fort, amb més lleugeresa i estructures d'una sola peça més rígides per a vehicles. Aquesta tècnica és particular per les indústries de cotxes esportius d'alta qualitat i també sovint és emprada en la formació de tubs d'alumini per quadres de bicicleta.

La hidroformació consisteix en utilitzar un fluid hidràulic per pressionar el material contra un motlle que té la forma desitjada. Per hidroformar un metall és col·locar un tub d'aquest dins del motlle que vulguis. Llavors, les bombes hidràuliques injecten el fluid a molt alta pressió dins del motlle que fa que el metall es deformi fins a agafar la forma desitjada, finalment el metall modificat és extret. La hidroformació permet modificar els metalls per que agafin formes complexes amb concavitats que seria molt difícil o impossible d'aconseguir amb un motlle estàndard segellat. Les parts hidroformades sovint poden ser fetes amb una proporció de rigidesa-pes més alta i en un cost de fabricació inferior que el tradicional motlle segellat o parts soldades. Pràcticament tots els metalls capaços de formació en fred poden ser hidroformats, incloent l'alumini, el coure, el carbó, l'acer inoxidable i altres aliatges resistents.

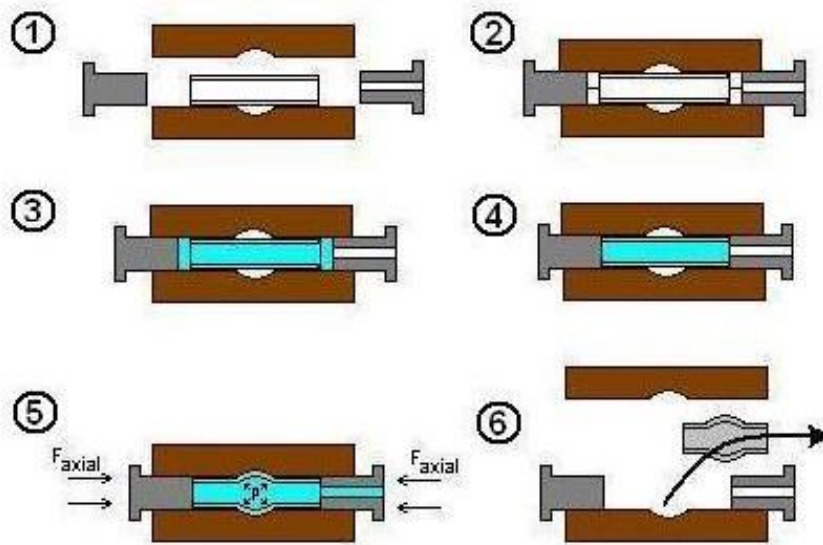


Figura 41: Esquema del procés de hidroformació

3.6.2. Conificat

El conificat consisteix en estirar els tubs d'alumini extruïts per donar-los-hi diferents gruixos al llarg de la seva longitud per reforçar les parts que han d'aguantar més esforços i alleugerir el pes de la resta.

Es va crear per reforçar els extrems dels tubs que suporten la soldadura, en els que es produïa un debilitament important. Això ha resultat ser un efecte associat molt important: el conificat reforça les zones en les que el esforços son mes grans, els extrems. Les primeres series d'alumini conificat es van fabricar a mitjans dels 90, guanyant definitivament la batalla del pes, que fins aquell moment el tenien els quadres d'acer de qualitat.

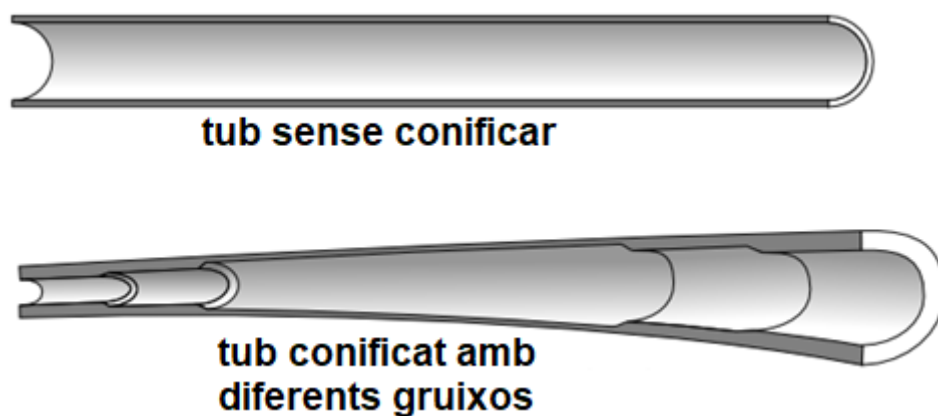


Figura 42: Conificat de tubs

3.6.3. Soldadura TIG

La soldadura TIG (*Tungsten Inert Gas*) es caracteritza per l'ús d'un elèctrode permanent de tungstè, aliat de vegades amb tori o zirconi en percentatges no superiors a un 2%. Donada l'elevada resistència a la temperatura del tungstè (fon a 3.410 °C), acompanyada de la protecció del gas, la punta de l'elèctrode amb prou feines es desgasta després d'un ús prolongat. Els gasos més utilitzats per a la protecció de l'arc en aquesta soldadura són l'argó i l'heli, o barreges d'ambdós.

El gran avantatge d'aquest mètode de soldadura és, bàsicament, l'obtenció de cordons més resistents, més dúctils i menys sensibles a la corrosió que en la resta de procediments, ja que el gas protector impedeix el contacte entre l'oxigen de l'atmosfera i el bany de fusió. A més, aquest gas simplifica notablement el soldat de metalls ferrosos i no ferrosos, per no requerir l'ús de desoxidant, amb les deformacions o inclusions d'escòria que pot implicar. Un altre avantatge de la soldadura per arc en atmosfera inert és que permet obtenir soldadures netes i uniformes. A causa de l'escassetat de fums i projeccions, la mobilitat del gas que envolta l'arc transparent permet al soldador veure clarament el que està fent en tot moment, cosa que repercuteix favorablement en la qualitat de la soldadura. El cordó obtingut és per tant d'un bon acabat superficial, que pot millorar-se amb senzilles operacions d'acabat, el que incideix favorablement en els costos de producció. A més, la deformació que es produeix als voltants del cordó de soldadura és menor.

Com a inconvenients hi ha la necessitat de proporcionar un flux continu de gas, amb la instal·lació de canonades, ampolles de gas inert, etc. que comporta, i l'encariment que això suposa. A més, aquest mètode de soldadura requereix una mà d'obra molt especialitzada, fet que també augmenta els costos. Per tant, no és un dels mètodes més utilitzats, sinó que es reserva per a unions amb necessitats especials d'acabat superficial i precisió.

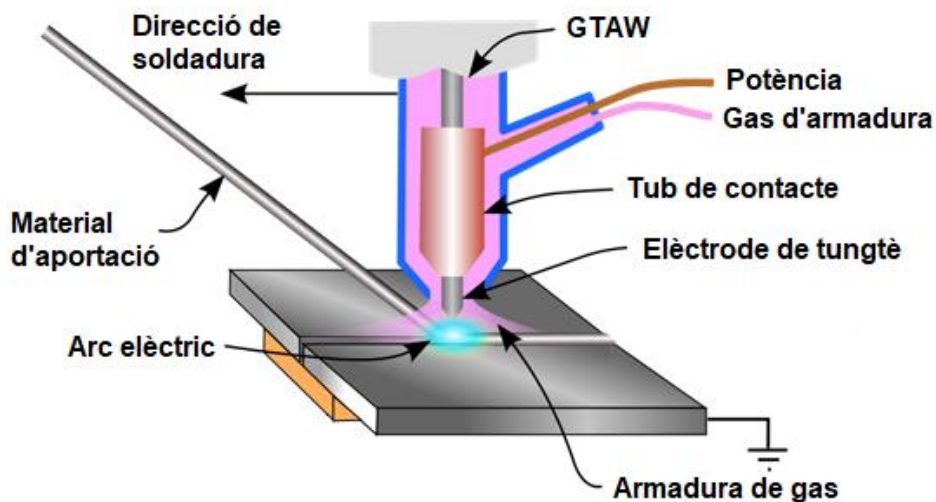


Figura 43 : Soldadura TIG

4. Especificacions

Especificacions que ha de complir el quadre que es vol dissenyar pel que fa a geometria, cinemàtica, pes, resistència i rigidesa.

	Objectiu	Rang vàlid
Anti-squad (al 25% de SAG, amb plat de 32 dents i tots els pinyons)	100%	70-120%
Leverage ratio (progressivitat)	30%	15-50%
Leverage ratio mitjà	Menys de 2,3	Menys de 2,5
Anti-rise (al 25% de SAG)	25 %	0-50%
Retrocés de pedal màxim (al 25% de SAG i plat de 32 dents)	Menys de 18 graus	Menys de 25 graus
Reach	490 mm	480-500 mm
Angle d'atac	64 graus	63,5-64,5 graus
Angle efectiu de seient	77 graus	75-78 graus
Longitud del tub de seient	470 mm	460-490 mm
Longitud de tija que es pot introduir en el quadre	240 mm	Més de 220 mm
Chainstay	432 mm	Menys de 440 mm
Alçada de l'eix de pedaler	340 mm	338-345 mm
Distància entre eixos (Wheelbase)	1270 mm	1250-1280 mm
Massa	3,5 kg	Menys de 4 kg
Resistència (coeficient de seguretat)	3	Més d'1
Rigidesa (% deformació)	Menys de l'1%	Menys del 2%

5. Bicicleta dissenyada

5.1. Elecció del material de fabricació

Per fer la construcció del nostre quadre farem servir alumini ja que té la millor relació qualitat preu, és a dir que ens pot sortir una bicicleta més econòmica que amb fibra de carboni. També l'hem escollit perquè alhora de fer les simulacions, al ser un material isotròpic, ens facilita molt la feina i aconseguim unes simulacions més verídiques ja que no tenim l'oportunitat de crear prototipus i fer els assajos reals.

Alhora d'escollir l'alumini per al quadre, hi ha dos aliatges amb els quals es fabriquen la gran majoria de bicicleta d'alumini avui en dia: l'alumini 6061 i el 7005. S'ha de destacar que ambdós aliatges de les series 6000 i 7000 utilitzats per aquests productes es poden tractar tèrmicament mostrant una bona sensibilitat al temple.

Ambdós aluminis, el 6061 i 7005, tenen unes propietats molt semblants i fa que alguns fabricants treballin amb un i d'altres amb l'altre. Els dos es tracten amb un tractament tèrmic T-6 que consisteix en trempar el material, refredant-lo a l'aigua després de ser extruït, i envellir-lo artificialment. L'alumini 7005 és una mica més resistent però també més rígida cosa que fa la seva conducció més 'nerviosa' i seria més adequat per bicicletes de carretera que no han d'absorbir tants d'impactes i han de rebaixar més el pes.

Al final ens hem decantat per l'elecció de l'alumini 6061 T-6 ja que és una mica més econòmic, és força resistent, té una bona maquinabilitat, té bones característiques per a la soldadura forta y amb arc, és resistent a la corrosió i ofereix una conducció més suau.

S'ha definit l'alumini 6061 amb un tractament tèrmic T-6 al Solid Works i al Ansys per trobar el pes i fer l'anàlisi d'esforços i deformacions respectivament. Les dades s'han obtingut de la pàgina MatWeb on hi ha un llistat amb totes les característiques del material.

El material és isotròpic i les característiques introduïdes han estat les següents:

Densitat (kg/m ³)	Tensió límit elàstic (MPa)	Tensió ruptura (MPa)	Mòdul de Young (GPa)	Coefficient de Poisson
2700	276	310	68,9	0,33

5.2. Elecció del sistema de suspensió

A l'hora d'escollir el tipus de sistema de suspensió que es volia per a la bicicleta, s'ha tingut en compte quin sistema interessava més per una bicicleta d'enduro, quins paràmetres es volien optimitzar i per a quin tipus d'usuari estaria enfocada. Després de fer una comparativa entre unes quantes de les bicicleta actuals d'aquesta modalitat, llegir diferents articles a revistes de mountain bike, provar diferents tipus de bicicleta amb diferents tipus de suspensió (VPP, monopivot, Horst Link...) i analitzar-les amb el programa Linkage s'ha decantat per fer un sistema de suspensió Horst Link.

El motiu d'aquesta tria ha estat bàsicament per la facilitat d'optimitzar el major nombre de paràmetres possibles de la suspensió per millorar-ne el funcionament. Amb aquest sistema, posant les articulacions correctament, podem optimitzar al màxim els valors d'anti-squat, retrocés de pedal, leverage ratio...

Al tenir l'eix de la roda independent (no està agafat a cap beina directament articulada al triangle principal), podem jugar més amb el recorregut que segueix la roda del darrera i millorar així el retrocés del pedal. També podem moure els diferents punts articulats de forma que al millorar un paràmetre, no ens interfereixi tant amb un altre. Per exemple, si movem el punt que articula la beina i el triangle principal podem millorar l'anti-squat sense empitjorar molt el retrocés de pedal.

Pel que fa a l'ergonomia, amb aquest sistema tenim forces avantatges:

- Podem introduir molta tija de seient dins del tub, cosa que és interessant per les persones altes o amb les cames llargues.
- Tenim molt d'espai al mig del triangle principal per si es volgués posar un bidó d'aigua.
- Té un fàcil accés a totes les articulacions per poder arreglar una possible averia. Amb sistemes VPP aquest accés era molt més difícil que amb un Horst Link ja que s'acumulaven moltes articulacions prop de l'eix de pedaler, que amb el plat i la cadena en aquella zona feien que l'accés fos força complicat.

Els principals inconvenients, són el major nombre de rodaments que s'han d'utilitzar amb les possibles folgances que això pot provocar. Aquest fenomen pot ser resolt amb un bon disseny del quadre en el punt de les articulacions fent-les el més reforçades possibles i segellant-les bé perquè no hi entrin coses que puguin fer malbé els rodaments.

5.3. Geometria del quadre de la bicicleta

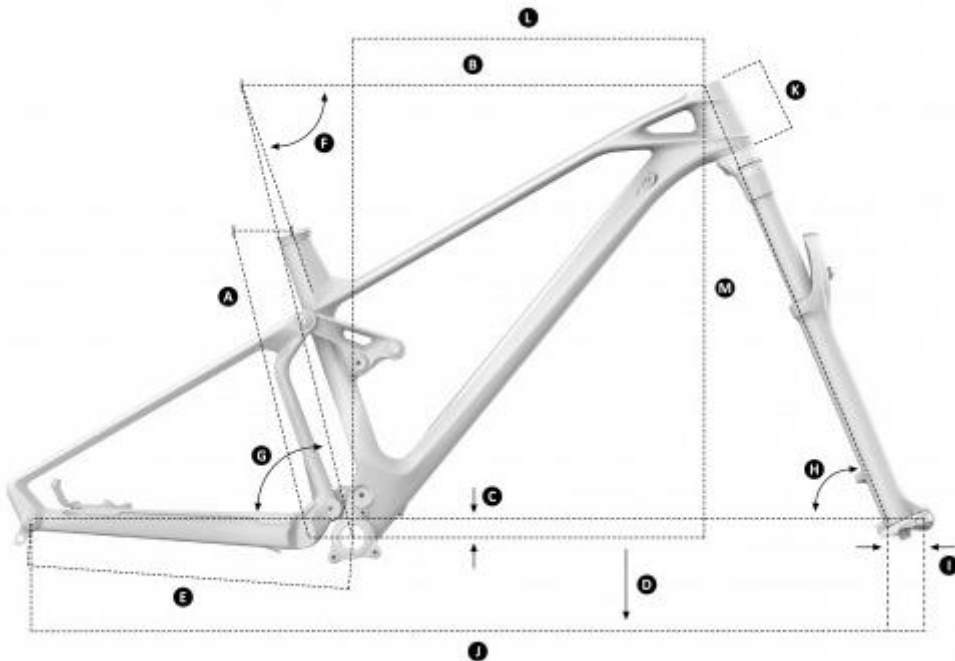


Figura 44: Mesures del quadre d'una bicicleta de doble suspensió. (Mondraker)

A continuació s'explica breument la importància de cada un dels paràmetres que defineixen la geometria d'un quadre de bicicleta. També es donen els valors concret d'aquests, en el model que s'ha dissenyat, explicant el perquè de l'elecció. Aquests paràmetres són molt importants ja que han d'anar amb acord a les dimensions fisiològiques del ciclista per a un major confort d'aquest i millor rendiment sobre la bicicleta.

- **Longitud del tub de seient (A):** Es mesura des del centre de l'eix de pedalier fins on està situat el forat del quadre per on s'introdueix el seient. Defineix la talla de la bicicleta, en relació amb la longitud de l'entrecreix i sol estar expressada en polzades: talla 15, talla 20, talla 22, ... (La conversió a centímetres es fa multiplicant cada polzada per 2,54.). Encara que en les bicicleta de carretera i en les de muntanya, destinades a un ús "tranquil" o de passeig és fàcil comprendre aquesta funció ja que el tub horitzontal és paral·lel al sòl, en les bicicleta de muntanya destinades a un ús més "radical", el tub horitzontal presenta una caiguda (o slooping) més o menys acusada cap enrere, i els tallatges es compliquen. En el model dissenyat aquesta distància és de 469 mm, força baixa, cosa que ens interessa per poder facilitar els moviments sobre la bicicleta en una baixada. Aquesta mida tan reduïda, per una bicicleta de talla L, no seria possible si no es pogués introduir molta tija dintre del tub del seient. En aquest model, es poden introduir 230,22 mm de tija dintre el tub del seient, una llargada força gran tenint en compte les geometries i les corbes complicades d'aquest tipus de bicicletes, ja que hi ha

tots els pivots del basculant que et limiten aquesta distància.

- **Longitud del tub horitzontal (B):** Es mesura entre els punts de tall d'una recta horitzontal imaginària entre la part superior del tub de direcció i la prolongació del tub de seient. Aquesta mida també ens permet saber la talla de la bicicleta tot i que és pot allargar o escurçar la distància amb el manillar canviant la potència de la bicicleta. En el model dissenyat aquesta distància és de 640 mm, prou llarga per una bicicleta de talla L, això ens facilita poder portar potències més curtes i que tenen una maniobrabilitat més directa amb la direcció.

- **Caiguda de l'eix de pedaler (C):** És la distància vertical entre l'eix de pedaler i la recta horitzontal que uneix els eixos de les dues rodes. Aquesta distància està relacionada amb l'altura de l'eix de pedaler i la mida de les rodes utilitzades. Com més gran és la roda utilitzada més gran serà aquesta distància. En el model dissenyat aquesta distància és de 35 mm per sota de la línia horitzontal que uneix els eixos de les rodes, força gran ja que tenim un eix de pedaler bastant baix i unes rodes de 29 polsades amb un pneumàtic força gruixut.

- **Alçada de l'eix de pedaler (D):** Sobre un sòl completament pla, es mesura la distància des del centre de l'eix del pedaler fins a terra. Una menor alçada fa la bicicleta més manejable, mentre que una major altura produeix estabilitat en línia recta, amb un rodament més tranquil sense mans i un augment de la capacitat per superar obstacles sense colpejar amb el quadre. Aquesta alçada determina la distància entre el centre de la caixa de pedaleig i el terra (enlairament), fonamental per calcular el treball en terrenys accidentats. Determina també a quina distància el teu cos quedarà del terra. Com més baix, millor és el centre de gravetat i això facilita el maneig en corbes. Si aquesta altura és molt petita, el pedal comença a colpejar a les pedres. Si l'ús fos només en terrenys llisos, tenir el quadre més baix ajuda a prendre les corbes més ràpides, com les d'eslàlom i bicigròs. Es per això, que les bicicletes de descens tenen l'eix de pedaler molt elevat ja que quan el basculant del quadre amorteix, l'eix s'apropa al terra i pot provocar que els pedals xoquin amb els obstacles que s'han de superar, aquesta esmorteïda també afavoreix el pas per corba ja que al apropar-se al terra el centre de gravetat baixa i té més estabilitat. En el model dissenyat aquesta alçada és de 340,9 mm (amb rodes de 2,5 polsades de gruix) força baixa per una bicicleta d'aquest recorregut però alhora, també la fa molt estable i manejable. Aquesta bicicleta s'haurà de portar en bieles curtes (165 mm enlloc de les habituals de 170 mm) per evitar enganxaments amb obstacles a l'hora de pedalar.

- **Distància entre eix de pedaler i eix de la roda del darrera (chainstay) (E):** Es mesura des del punt central de l'eix de la roda posterior fins el punt central de l'eix del pedaler.

A les bicicletes de muntanya aquest valor sempre ha estat superior al de les bicicletes destinades a la carretera (42-45 cm per 39-42 cm, respectivament), però en l'actualitat tendeix a escurçar-se: una distància més curta és menys estable a grans velocitats, però augmenta la velocitat de reacció (maniobrabilitat) i millora la capacitat d'escalada. Com més curt sigui aquest suport, millor. Perquè com més roda del darrere quedi sota el seu cos, millor és la tracció a les pujades, millor és a les corbes i també és un factor que facilita l'efecte per aixecar la roda davantera. Tot i que ens interessa fer-lo el més curt possible, aquesta distància queda limitada per la mida de la roda, ja que aquesta al ser de 29" si fem aquesta distància molt petita, no deixem espai a la beina per poder passar entre el plat i la roda. En el model dissenyat aquesta distància és de 439,3 mm, el més petit possible tenint en compte que s'havia de deixar espai suficient entre la roda i la beina, i el plat i la beina per un correcte funcionament.

- **Angle de seient (F):** Sobre un sòl completament pla, representa l'angle que forma una recta horitzontal imaginària amb la prolongació de l'eix longitudinal del tub de seient (l'angle s'ha de prendre cap a la part posterior i superior de la bicicleta). Oscil·la entre els 64 i els 77 graus i resulta determinant en el comportament de la bicicleta: un angle més pla (64 a 70 graus) proporciona un comportament més còmode (tirat cap enrere), mentre que un més vertical (proper als 77 graus) beneficia l'escalada (al avançar la posició). En relació amb l'ergonomia, un usuari amb cuixes curtes es beneficiarà d'un angle més vertical, mentre que un usuari amb les cuixes més llargs estarà més còmode amb un angle més pla. En el model dissenyat aquest angle és de 67,2 graus.

- **Angle efectiu de seient (G):** Des del punt on tallen la prolongació del tub del seient i la recta horitzontal que ve de la part superior del tub de direcció, es traça una recta fins l'eix de pedaler, l'angle que forma aquesta recta amb una línia horitzontal és l'angle efectiu del seient. Aquest paràmetre és clau per una correcta pedalada sobre la bicicleta tant en pujades com en baixades. En el model dissenyat, aquest angle és de 76,5 graus, un angle força elevat que fa més còmoda la posició de pedalada en pujades empinades (habituals en la modalitat d'enduro) i que deixa més espai entre la roda del darrere i el seient per tenir més maniobrabilitat quan s'està dret en les baixades.

- **Angle de direcció o d'atac (H):** Sobre un sòl completament pla, representa l'angle que forma la prolongació de l'eix longitudinal del tub de direcció amb l'eix longitudinal del tub horitzontal (pres precisament des del seu punt de tall amb el tub de direcció i en prolongació horitzontal cap al tub de seient). L'angle s'ha de prendre cap a la part posterior i superior de la bicicleta. A les bicicleta de muntanya oscil·la entre els 63 i els 72 graus, i juntament amb l'avanç de la forquilla influeix decisivament en l'avanç efectiu de la roda, del qual depèn el tipus de pilotatge: amb un angle de direcció més vertical (proper a els 72 graus) i una forquilla de curvatura mitjana s'obté un control més directe

de la direcció (comportament més sensible), mentre que un angle més pla (proper als 63 graus) proporciona un control "esmoreït" (comportament menys sensible). L'angle que la roda davantera té en relació a la bicicleta és un dels majors efectes en la pedalada. Com més gran sigui aquest angle, més immanejable queda la bicicleta, és a dir, més mandrosos seran els efectes de la bicicleta per les corbes. Aquestes són fàcils de conduir i fàcils de mantenir en un camí en pujada. No així en els descensos, ja que es comporten de manera imprecisa i inestable, un exemple serien les bicicleta de ralli. La bicicleta amb un angle d'atac menor és més lenta per prendre les corbes tancades, encara que són més estables en velocitats majors, així com en camins de terra i superaran amb més facilitat els obstacles. El costat negatiu, és que posseeixen més resistència al viratge. Són conegudes com "vaixells", i necessiten més espai per maniobrar, un exemple serien les bicicleta de descens o enduro. En el model dissenyat, aquest angle és de 64 graus, un angle força petit que ens permet obtenir una bicicleta molt estable en altes velocitats i que supera obstacles amb facilitat. Per contra, costa una mica més prendre les corbes molt tancades cosa que pot solucionar-se amb l'habilitat del pilot.

- **Avanç de la forquilla (I):** Aquesta distància és la que hi ha entre la recta que marca la prolongació de l'eix longitudinal del tub de direcció i l'eix de la roda del davant. Aquesta distància depèn de la forquilla utilitzada i en les forquilles de roda de 29 polsades sol estar compresa entre 37 i 51 mm. En la forquilla que es vol utilitzar en el model dissenyat (fox 36 per roda de 29 polsades i 170 mm de recorregut) aquest avanç és de 51 mm.

- **Distància entre eixos de les rodes (wheelbase) (J):** Es mesura des del punt central de l'eix de la roda davantera fins al punt central de l'eix de la roda del darrere. Una major distància proporciona una conducció més relaxada però amb menor manejabilitat, mentre que una distància menor augmenta la manejabilitat però comporta un comportament més "nerviós" de la bicicleta i menys estabilitat en trams rectes i ràpids. En el model dissenyat, aquesta distància és de 1273,7 mm, força llarga per una bicicleta de talla L cosa que la farà molt estable i ràpida però més difícil de maniobrar.

- **Longitud del tub de direcció (K):** És la distància que va des del ancoratge de la forquilla amb el quadre, fins a la potència. Com més gran sigui la talla de la bicicleta més gran és aquesta distància ja que ha d'aguantar tot el moment generat per la forquilla i com més pesi el pilot més gran serà aqueta. En el model dissenyat aquesta distància és de 115 mm, una mida estàndard per una talla L.

- **Reach (L):** És la distància horitzontal que hi ha entre l'eix de pedaler i la part superior del tub de direcció. Com més llarga és aquesta distància més llarga és la bicicleta i per tant més estable i còmoda de portar. Per contrapartida, com més curta és aquesta

distància és més ràpida fent corbes tancades i més fàcil de maniobrar. En el model dissenyat aquesta distància és de 487,4 mm, força llarg per una bicicleta de talla L però marcant la tendència d'aquest tipus de bicicleta han de ser cada cop més llargues.

- **Stack (M):** És la distància vertical que hi ha entre l'eix de pedaler i la part superior del tub de direcció. Aquesta distància està directament relacionada amb la mida de la roda, la llargada de la forquilla i la llargada del tub de direcció. Amb rodes de 29 polsades, recorreguts de la forquilla llargs i talles de la bicicleta grans, aquesta distància és força elevada. En el model dissenyat aquesta distància és de 633,3 mm.

5.4. Paràmetres de la bicicleta obtinguts amb el programa Linkage

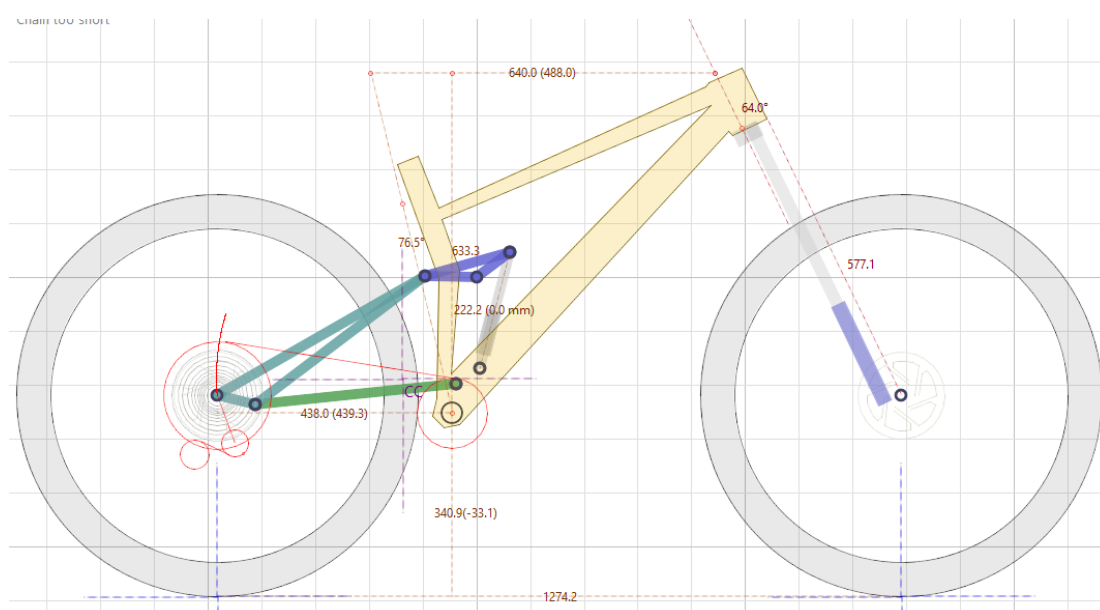


Figura 45: Bicicleta dissenyada al programa Linkage

Amb el programa Linkage s'ha fet el disseny 2D de la bicicleta ja que calcula ràpidament totes les mides i paràmetres que es volen tenir en compte. Tot i que s'han comprovat tots els paràmetres a optimitzar (leverage ratio, anti-squad, anti-rise i retrocés de pedal) manualment, per mitjà de formules i trigonometria, s'ha fet servir aquest programa ja que et dona els resultats dels càlculs instantàniament i et proporciona els gràfics que s'han de tenir en compte. Això ens permet anar triant la metodologia per dissenyar el quadre d'una forma molt més ràpida i precisa, fent així possible un millor disseny conceptual del quadre.

Per arribar al disseny final, s'ha introduït al programa les mides dels components als que ens havíem d'adaptar (forquilla, rodes, plat, pinyons...) i les que desitjàvem del propi quadre (altura eix pedaler, angle d'atac, reach...).

Un cop introduïts aquest valors, s'anava jugant amb els punts de les articulacions per millorar els valors d'anti-squ coast, leverage ratio, anti-rise i retrocés de pedal.

Per fer els càlculs de molts dels paràmetres que són necessaris per optimitzar la bicicleta, és necessari saber el centre de gravetat del conjunt ciclista més bicicleta. És per això, que s'ha buscat a quina alçada podia estar aquest punt, per obtenir uns resultats el més aproximats possibles a la realitat.

ESTATURA	E/P	PIERNA	P/S	SILLIN	C.D.G.
200 CM	48%	96.0 CM	88%	84.4 CM	124.4 CM
195 CM	48%	93.6 CM	88%	82.4 CM	122.4 CM
190 CM	48%	91.2 CM	88%	80.3 CM	120.3 CM
185 CM	48%	88.8 CM	88%	78.1 CM	118.1 CM
180 CM	48%	86.4 CM	88%	76.0 CM	116.0 CM
175 CM	48%	84.0 CM	88%	73.9 CM	113.9 CM
170 CM	48%	81.6 CM	88%	71.8 CM	111.8 CM
165 CM	48%	79.2 CM	88%	69.7 CM	109.7 CM
160 CM	48%	76.8 CM	88%	67.5 CM	107.5 CM
155 CM	48%	74.4 CM	88%	65.4 CM	105.4 CM
150 CM	48%	72.0 CM	88%	63.4 CM	103.4 CM

Figura 46: Taula d'altura del centre de gravetat segons l'alçada del ciclista

Aquests valors són els aproximats per trobar el centre de gravetat del ciclista més la bicicleta. L'altura a la que s'ha col·locat el centre de gravetat en el programa ha sigut de 115 cm respecte al terra i 809 cm respecte l'eix de pedaler. Un valor força aproximat per a un ciclista d'una alçada de 1,80 metres i aquest tipus de bicicletes. No obstant, per les taula de la Figura 46, l'altura hauria de ser de 116 cm però, s'ha escollit un valor de 115 cm ja que s'ha dissenyat una bicicleta amb l'eix de pedaler una mica més baix de l'habitual i s'ha hagut de reduir aquesta alçada 1 cm.

5.4.1. Anti-rise (25% SAG de la forquilla)

L'anti-rise depèn del recorregut de la forquilla i de la suspensió. Per la bicicleta que s'està dissenyant, es volen uns valors d'anti-rise d'entre el 0 i el 50% ja que es vol tenir una gran independència entre el sistema de suspensió i la frenada per tenir una major tracció en frenades fortes i amb terrenys irregulars. En canvi, no està especialment dissenyada per terrenys amb pendents molt pronunciades.

En aquest gràfic podem observar que la nostra suspensió té un comportament força independent de la frenada. Al primer tram del recorregut té un 27% d'anti-rise i al final un 49%. Això millorarà el comportament de la bicicleta en trams ràpids i irregulars ja que al frenar la suspensió actuarà independentment i proporcionarà una major tracció. Per contra, en trams molt empinats, quan ens interessa que la suspensió del darrera es comprimeixi al frenar per millorar la geometria de la bicicleta, no anirà tant bé.

Gràfic de l'anti-rise amb un SAG del 25% a la forquilla

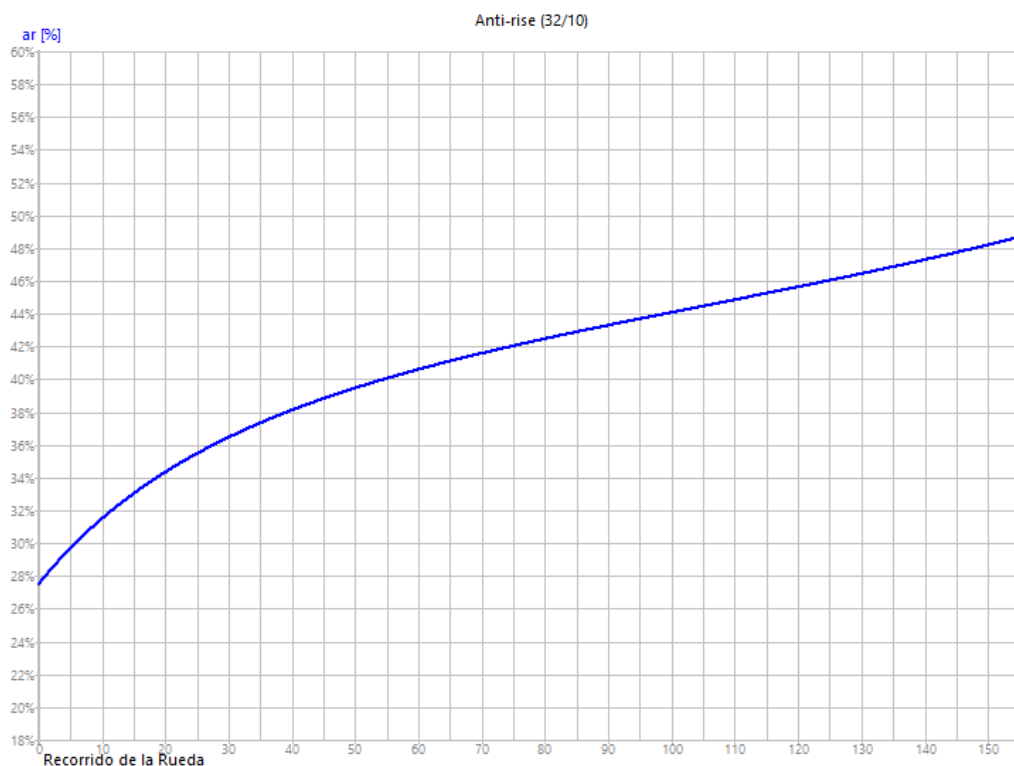


Figura 47: Gràfic % d'anti-rise (eix d'ordenades) - recorregut de la roda del darrera en mm (eix d'abscisses)

5.4.2. Leverage Ratio

El leverage ratio depèn únicament del recorregut de la suspensió. Per una bicicleta d'enduro, el valor de la progressivitat de la suspensió hauria d'estar comprès entre el 15 i el 50 % per poder funcionar bé amb tot tipus d'amortidors. També ens interessa que el leverage ratio mitjà sigui inferior a 2,7-2,6 perquè aquest no treballi a grans pressions i sigui més sensible.

En aquest gràfic és veu la relació entre el recorregut vertical de l'eix de la roda del darrera i el recorregut de l'amortidor. Al principi del recorregut, per cada 2,48 mm que es mou la roda verticalment, l'amortidor avança 1 mm. Al final del recorregut, per cada 1,98 mm que es mou la roda verticalment, l'amortidor n'avança 1. Això ens indica que és un sistema progressiu, com més avances en el recorregut de la roda, més dur es torna el sistema de suspensió. Aquest és un valor interessant ja que tot i que amb la configuració de l'amortidor es pot jugar amb els valors de progressivitat, és bo que el propi sistema de suspensió ja tingui una mica de progressivitat per si es vol ficar un amortidor de molla o per un millor funcionament de la suspensió amb amortidors més econòmics que no tenen tant d'hidràulic per poder-ho compensar. Aquest sistema té una progressivitat del

$\frac{2,48-1,98}{1,98} = 25\%$ un valor força òptim per aquest tipus de bicicleta. Massa progressivitat

fa que no s'aprofitei tot el recorregut de la suspensió i massa poca progressivitat fa que és facin topalls amb molta facilitat.

En aquesta bicicleta tenim un recorregut de 156 mm i l'amortidor té una carrera de

69,85 mm, això és un leverage ratio mitjà de $\frac{156}{69,85} = 2,23$. Aquest valor també es molt

important ja que amb aquest tipus de bicicleta ens interessa que aquest valor sigui el més baix possible per millorar la sensibilitat de l'amortidor, que aquest no treballi a grans pressions i que no és sobreescalfi en baixades llargues. Baixant el leverage ratio, millorem la sensibilitat de l'amortidor ja que l'amortidor té més carrera en relació al recorregut de la roda.

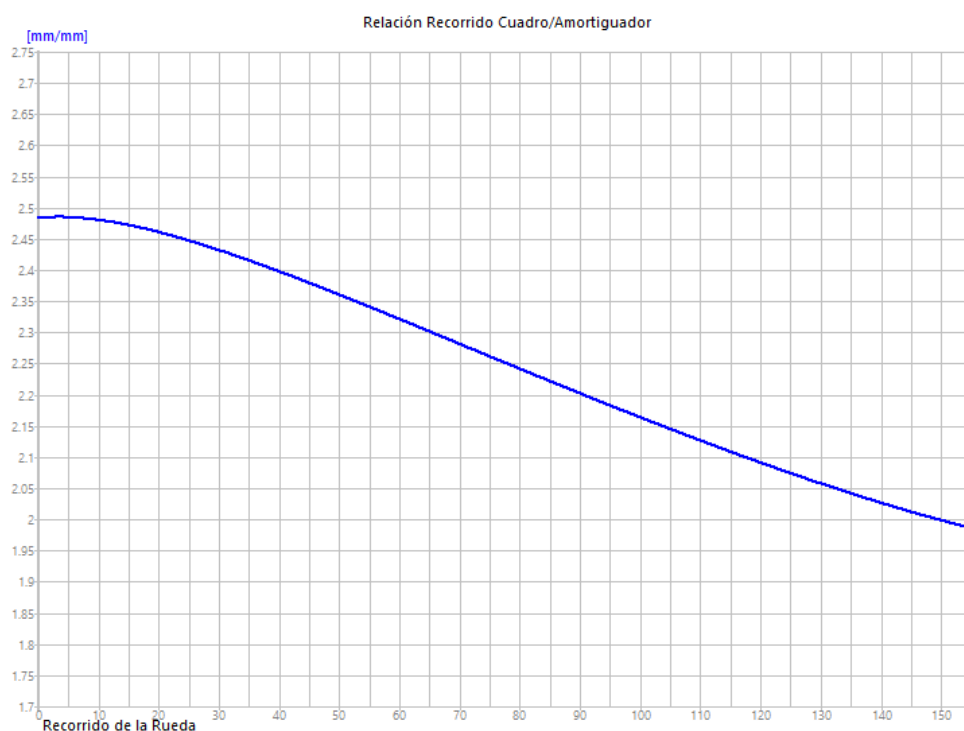


Figura 48: Gràfic leverage ratio (eix d'ordenades) - recorregut de la roda del darrera en mm (eix d'abscisses)

5.4.3. Anti-Squad (25% SAG de la forquilla)

L'anti-squad depèn del recorregut de la forquilla, la suspensió i la relació de transmissió utilitzada (plats i pinyons). Per una bicicleta d'enduro ens interessa que aquest paràmetre sigui del 100% entorn als valors de recorregut de la roda del darrera quan s'està pedalant. És a dir, per tenir una major eficiència de pedalada, entre el 25 i 35% de SAG de l'amortidor, el valor de l'anti-squad hauria de ser del 100%.

Gràfic de l'anti-squat amb un SAG del 25% a la forquilla, un plat de 32 dents i un pinyó de 50 dents



Figura 49 : Gràfic % d'anti-squat (eix d'ordenades) – recorregut de la roda del darrera en mm (eix d'abscisses)

Gràfic de l'anti-squat amb un SAG del 25% a la forquilla, un plat de 32 dents i un pinyó de 10 dents

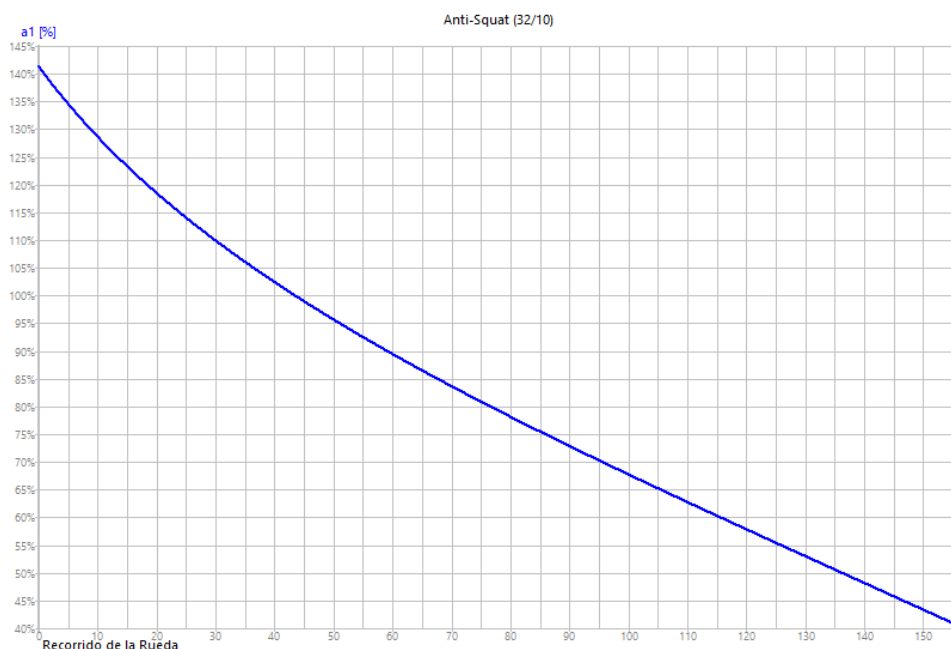


Figura 50: Gràfic % d'anti-squat (eix d'ordenades) – recorregut de la roda del darrera en mm (eix d'abscisses)

Els valors d'anti-squad s'han optimitzat per un plat de 32 dents (molt versàtil) tot i que també són força bons amb un plat de 34 dents.

També s'ha de tenir en compte el pendent de la corba de l'anti-squad durant tot el recorregut de la suspensió. En aquest sistema, amb el pinyó de 50 dents va del 108 al 68% i amb el pinyó de 10 dents va del 142 al 40%. Aquest valors optimitzen molt la pedalada sobre la bicicleta ja que no són valors extrems i en tot moment és mouen al voltant del 100% en les zones del recorregut de la bicicleta quan s'està pedalant (0%-50% del recorregut). No tenim valors inferiors al 80% els 78 primers mil·límetres de recorregut de la roda (50% del recorregut).

Valors d'anti-squad en un 25% de SAG a la forquilla i l'amortidor:

- **Plat de 32 dents**

Dents del pinyó	10	12	14	16	18	21	24	28	32	36	42	50
% anti-squad	102,4	101,0	100,0	99,2	98,5	97,8	97,2	96,6	96,1	95,7	95,2	94,6

- **Plat de 34 dents**

Dents del pinyó	10	12	14	16	18	21	24	28	32	36	42	50
% anti-squad	83,3	85,1	86,4	87,3	88,0	88,8	89,3	89,8	90,2	90,5	90,7	90,9

Com es pot veure la bicicleta està optimitzada per a un plat de 32 dents, força versàtil ja que amb una relació de pinyons de 10 a 50 dents, et dona per poder pujar forts pendents i tenir força velocitat punta.

Amb un plat de 34 dents els valors de l'anti-squad continuen sent força bons (propers al 100%) i la bicicleta perd una mica en eficiència de pedalada però guanya en tracció i velocitat punta, necessària per segons quins senders i competicions.

5.4.4. Retrocés de pedal (pedal kickback)

El retrocés de pedal depèn del recorregut de la forquilla, del recorregut de la suspensió i de la relació de transmissió utilitzada. El retrocés de pedal ens interessa el més petit possible, tot i que a vegades, pot ser interessant tenir-ne. Si l'angle de retrocés de pedal és molt elevat (més de 25 graus en el punt màxim) fa que els pedals s'estiguin movent tota l'estona durant la baixada provocant estrebades i fent més difícil de dominar la bicicleta. En canvi, aquest efecte també pot ser bo ja que sense pedalejar, només comprimit la suspensió, si es mantenen les bieles en la mateixa posició es produeix un petit cop de pedal que t'accelera la bicicleta. Aquest fenomen et fa guanyar velocitat a les sortides de corba o et permet agafar inèrcia en petits sotracs si es comprimeix tot el sistema de suspensió a voluntat en el lloc que interessa.

El paràmetre del retrocés de pedal es bastant proporcional a l'anti-squad ja que si millores l'eficiència de pedaleig, normalment t'empitjora el retrocés de pedal, augmentat l'angle màxim que aquest fenomen pot provocar.

Aquest paràmetre es mesura amb els graus que retrocedeixen (angles positius) o poden avançar (angles negatius) les bieles en funció del recorregut de la roda del darrera. Es pren com a posició de referència, és a dir, angle de 0 graus, quan l'amortidor està completament extensionat.

Gràfic del retrocés de pedal amb un SAG del 0% a la forquilla, un plat de 32 dents i un pinyó de 50 dents

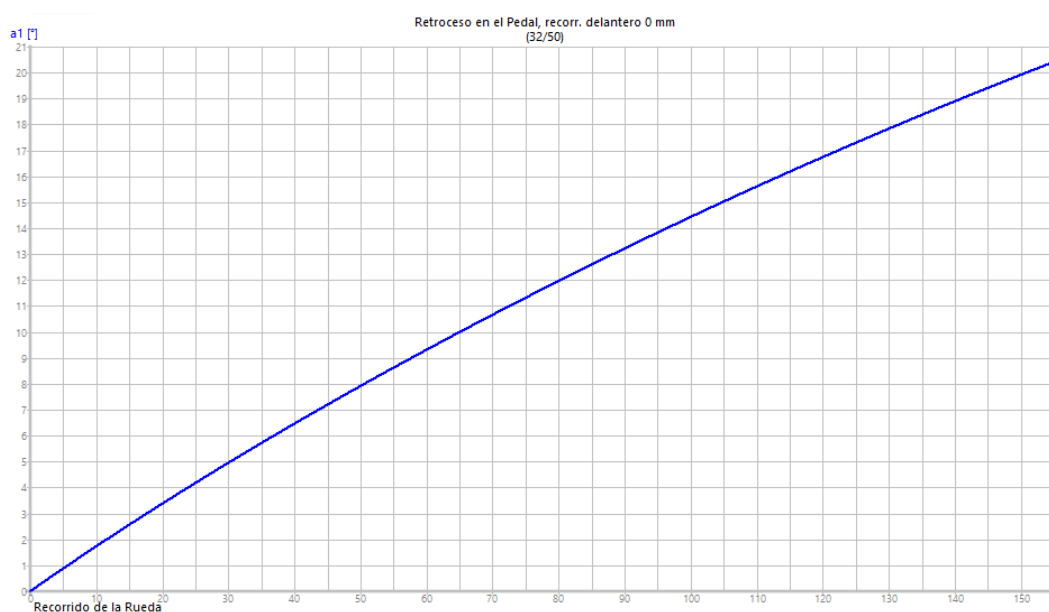


Figura 51: Gràfic graus de retrocés de pedal (eix d'ordenades) – recorregut de la roda del darrera en mm (eix d'abscisses)

Gràfic del retrocés de pedal amb un SAG del 0% a la forquilla, un plat de 34 dents i un pinyó de 50 dents

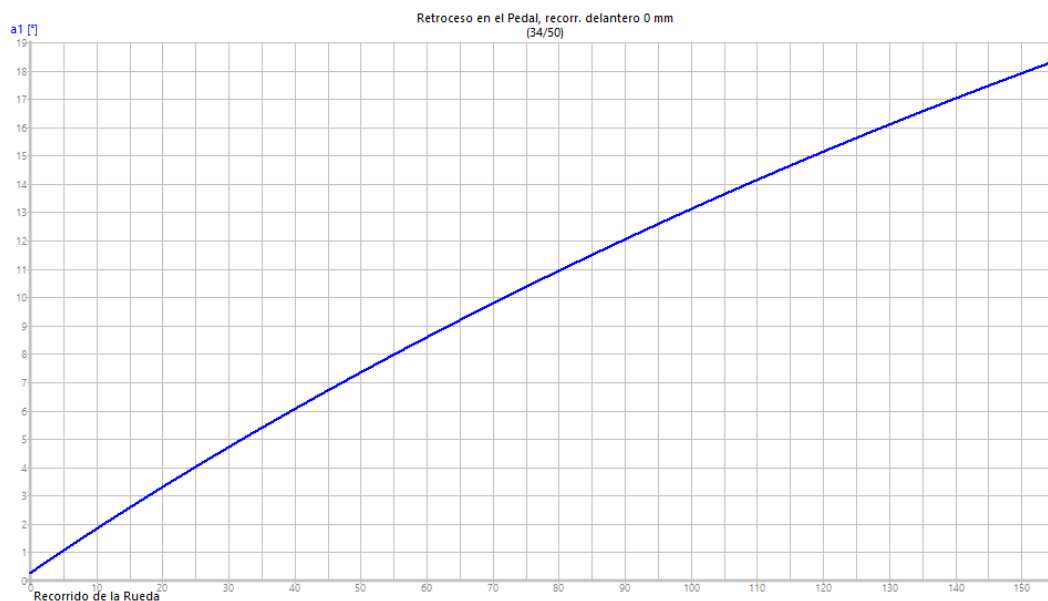


Figura 52: Gràfic graus de retrocés de pedal (eix d'ordenades) – recorregut de la roda del darrera en mm (eix d'abscisses)

Amb el plat de 32 dents i el pinyó de 50, tenim un retrocés de pedal màxim de 20,5 graus i amb el plat de 34 dents i mateix pinyó el tenim de 18,5 graus. Com és lògic amb el plat de 34 dents sacrificuem anti-squ coast per millorar el retrocés de pedal que ens interessa el més baix possible.

Com és lògic pensar, com més petit és el pinyó que estem utilitzant, més baix és el retrocés de pedal. Amb el pinyó de 10 dents ens movem amb valors d'1 a 3 graus i amb un pinyó de 24 dents de 9 a 11 graus.

Amb aquest sistema no tenim en cap moment forward pedal ja que el gràfic no ens mostra cap angle negatiu. Això és bo ja que mai es produeixen pedalades en buit que interrompen el ritme de pedaleig.

Aquests valors són orientatius ja que amb el recorregut de la forquilla van canviant. Però el que sí és segur, és que amb un plat de 34 dents sempre seran més petits que amb un de 32.

5.5. Parts de la bicicleta a les que s'ha d'adaptar el disseny

5.5.1. Amortidor

L'amortidor utilitzat, tot i que el quadre es pot adaptar a molt d'altres, ha sigut un Fox X2 del 2018 d'aire, amb una llargada entre eixos de 8,75 polsades = 222,25 mm i una carrera de 2,75 polsades = 69,85 mm. Amb aquesta llargada i carrera de l'amortidor s'aconsegueixen els 156 mm de recorregut de la roda del darrera desitjats.

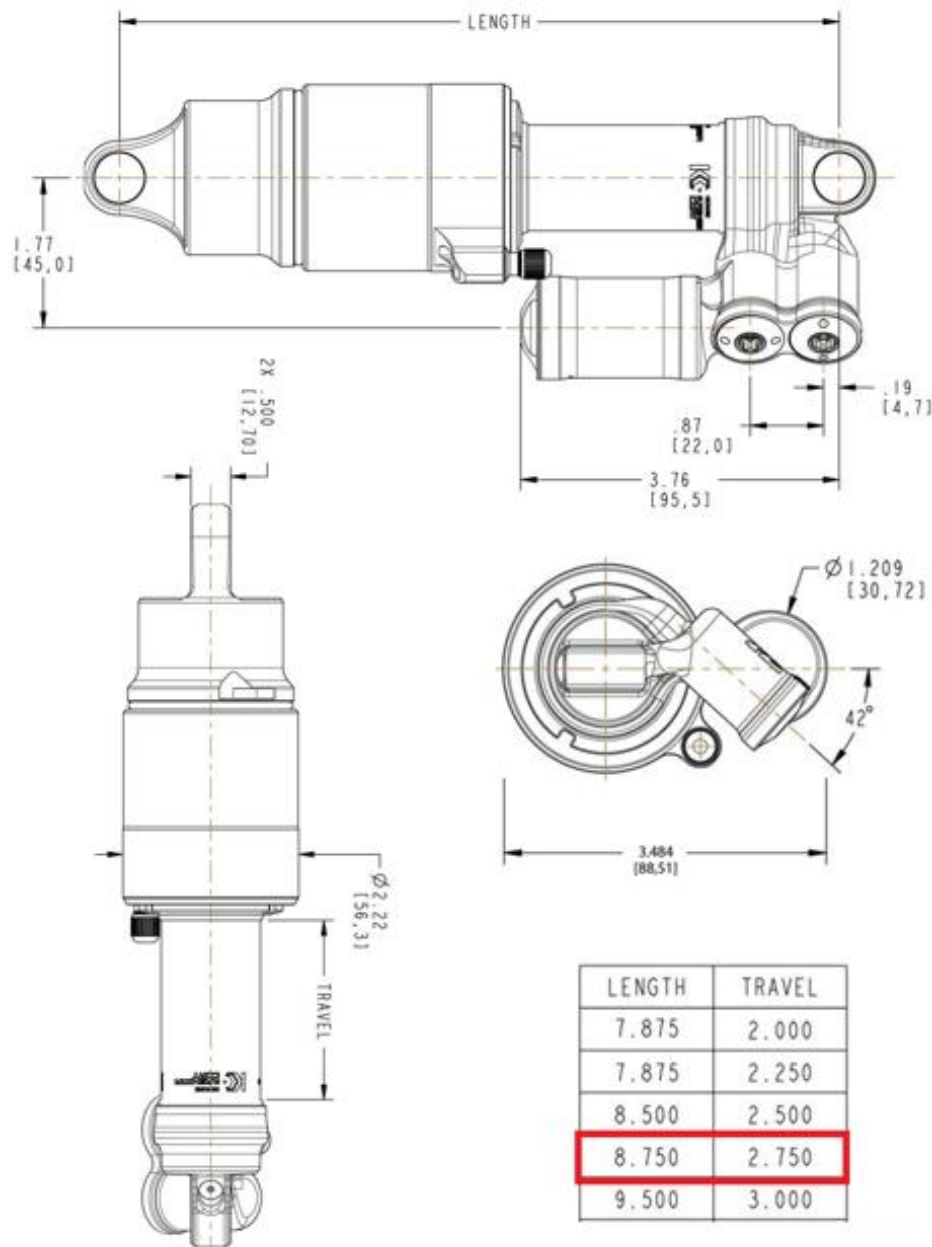


Figura 53: Plànols de l'amortidor Fox X2 kashima del 2018

5.5.2. Forquilla i direcció

La forquilla utilitzada ha sigut una Fox 36 Kashima del 2019 amb un recorregut de 170 mm i adaptada per roda de 29". Aquesta forquilla té un avanç de 51 mm, una distància de l'eix de la roda de 110 mm (boost) i una llargada des de l'eix de la roda al punt de contacte amb el quadre de 577,1 mm (llargada A a la figura 54).

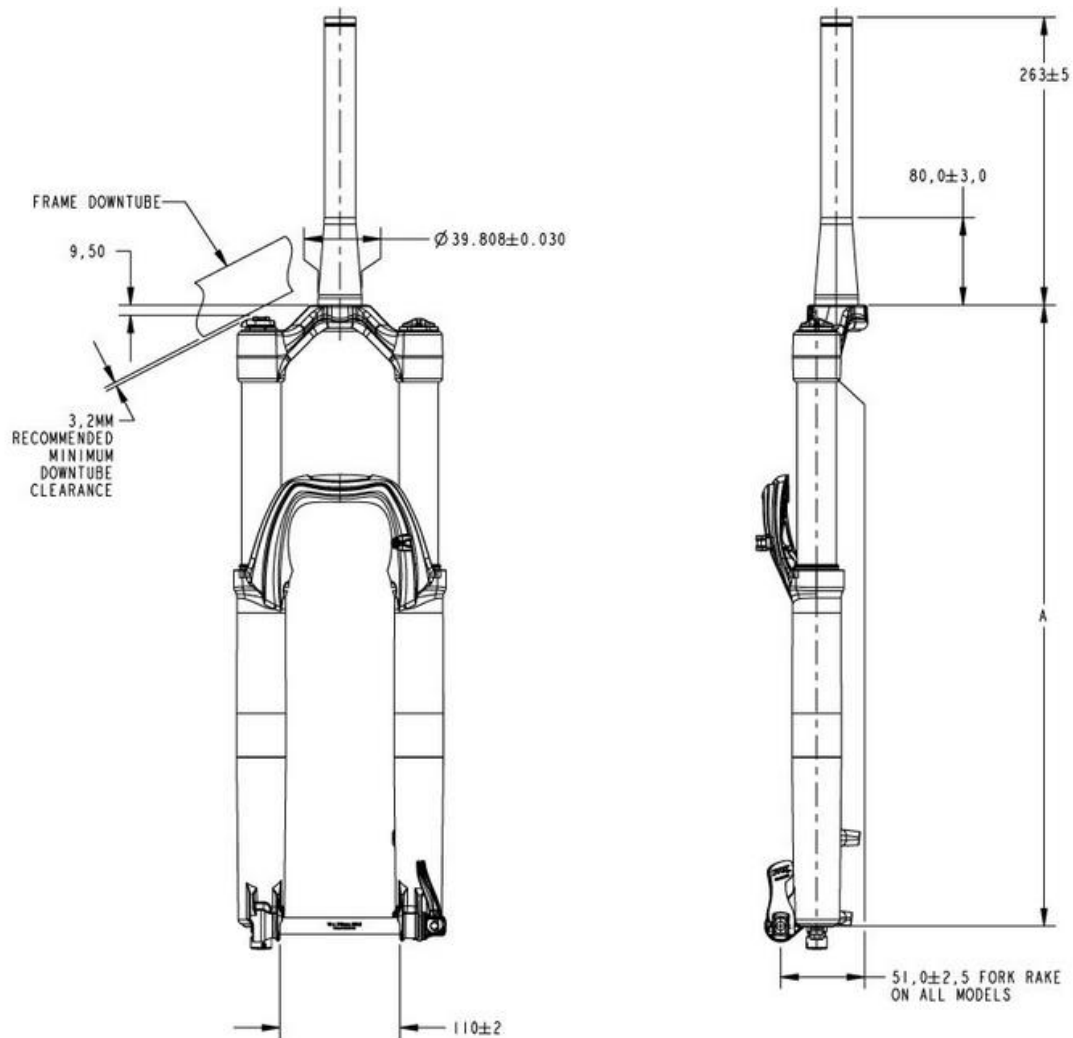


Figura 54: Plànols de la forquilla Fox 36 kashima del 2018

La direcció utilitzada ha sigut una aheadset tipus tapered que vol dir que està composta per dos rodaments de direcció (un dalt i un baix del tub de direcció) que van directament col·locats i reposen sobre el quadre sense la necessitat d'una cassoleta que els integri. Aquest tipus de direcció és la menys pesada i més econòmica ja que prescindeix de cassoletes que adaptin els rodaments amb el quadre, és per això que també rep el nom de direcció integrada.

Els coixinets de direcció que s'adapten a aquesta forquilla i al quadre són els següents:

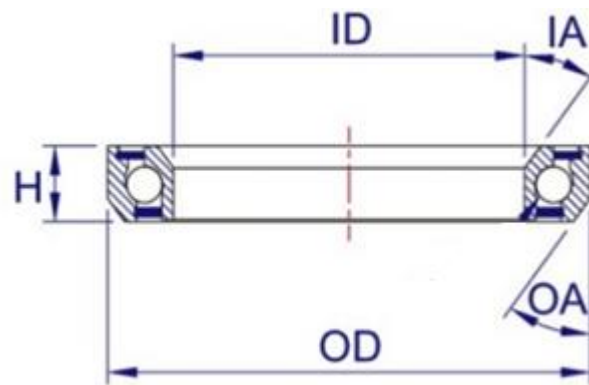


Figura 55: Rodament aheadset de direcció tipus tapered

Coixinets utilitzats en la direcció:

OD x ID x H x IA x OA

Superior → 41 x 30.2 x 7 x 45° x 45°

Inferior → 51.9 x 40 x 8 x 45° x 45°.

5.5.3. Rodaments del basculant

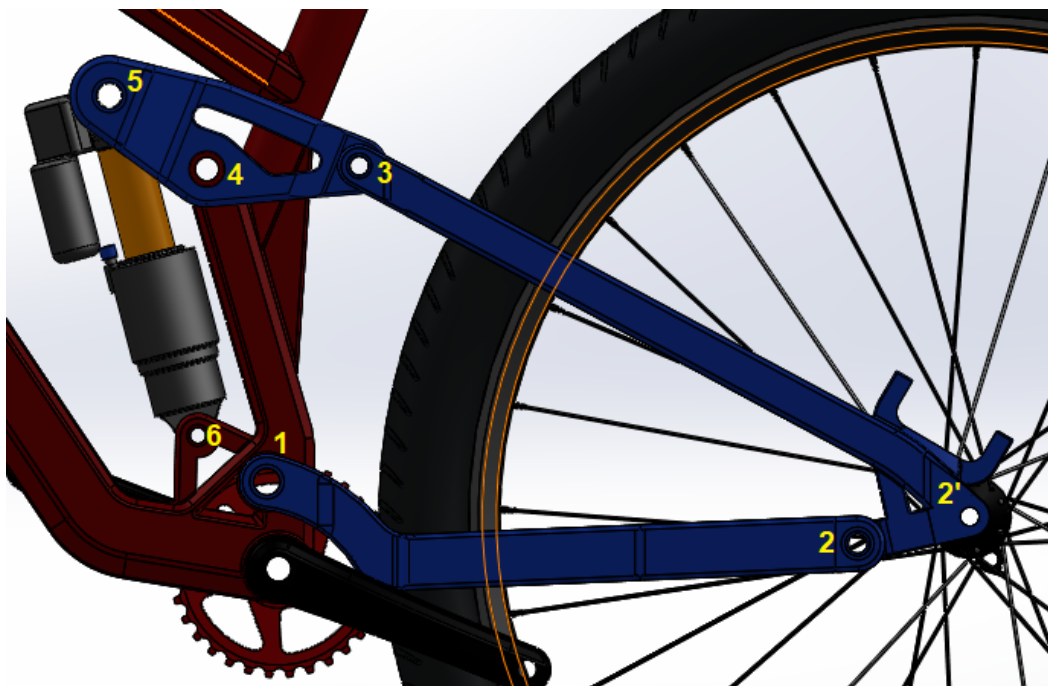


Figura 56: Punts del quadre on hi ha una articulació

*Mida rodament (diàmetre exterior x diàmetre forat x amplada) en mm

Punt 1 → Punt de pivot principal entre la beina i el triangle principal. 2 rodaments 30x17x7 col·locats al triangle principal.

Punt 2 → Articulació entre la beina i el tirant. 4 rodaments 21x12x5 col·locats en la beina.

Punt 2' → Els rodaments els porta la pròpia roda. Aquí només hi hem de posar un passador que agafi la roda de 12 mm de gruix.

Punt 3 → Articulació entre el tirant i la bieleta. 2 rodaments 24x15x7 col·locats en la bieleta.

Punt 4 → Articulació entre la bieleta i el triangle principal. 2 rodaments 28x15x7 col·locats en la bieleta.

Punt 5 → Articulació entre la bieleta i l'amortidor. 2 rodaments 22x10x6 col·locats en la bieleta.

Punt 6 → Coixinet de fricció situat a l'amortidor

5.5.4. Rodes, casset i frens

La roda del davant, com ja hem explicat, és de 29 polsades. La caixa ha de tenir una amplada de 110 mm (boost) i un passador de 15 mm de gruix. Està adaptada per portar un disc de fre de 180 o 200 mm de diàmetre.

La roda del darrere, al igual que la del davant, és de 29 polsades. La caixa ha de tenir una amplada de 148 mm (boost) i un passador de 12 mm de gruix. El quadre està adaptat per portar un disc de fre de 160 mm a 200 mm de diàmetre (depenent de l'adaptador que es vulgui ficar) i un casset de 11 o 12 velocitats a gust del pilot.

Amb un pneumàtic de 2,5 polsades (el més utilitzat per enduro) quedaria una mida de roda de 748 mm de diàmetre i un gruix en la part més ampla, on estan els tacs, de 66 mm.

Pel que fa als frens, s'utilitzarien uns frens de disc hidràulics de quatre pistons per tenir una potència de frenada major. Els discs utilitzats serien uns de 200 mm de diàmetre per tenir una millor frenada i no sofrir sobreescalfaments en baixades llargues.

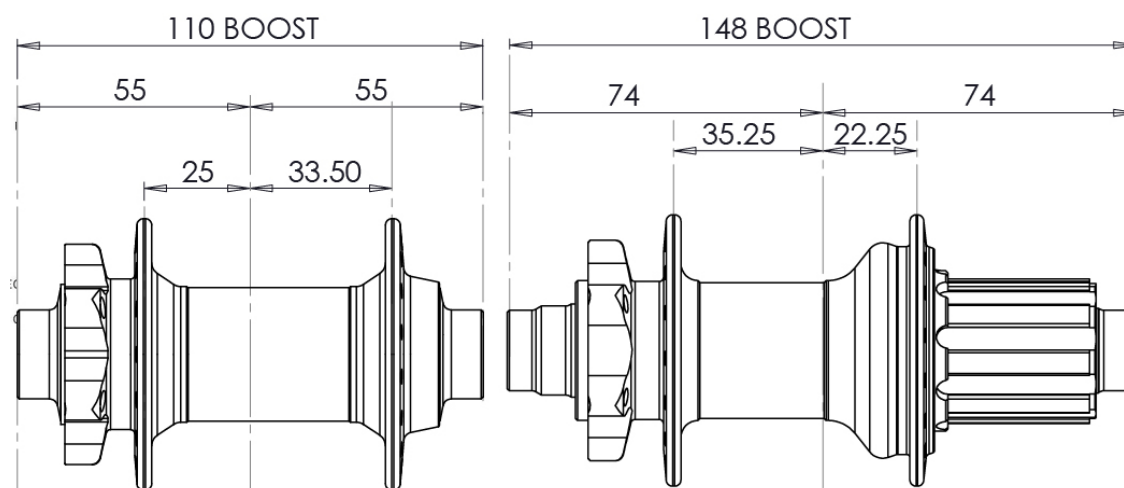


Figura 57: Mides d'una caixa boost de la roda del davant (esquerra) i del darrera (dreta)

5.5.5. Pedaler

Per aquesta bicicleta s'ha escollit un pedaler roscat ja que és el més fàcil de muntar i desmuntar, és fiable i és el que dona menys problemes. La distància del quadre per adaptar-se a aquest tipus de pedaler és de 73 mm entre la cassoleta de la part dreta i la de la part esquerra. El diàmetre de la rosca és de 30 mm. A = 73 mm, B = 30 mm.

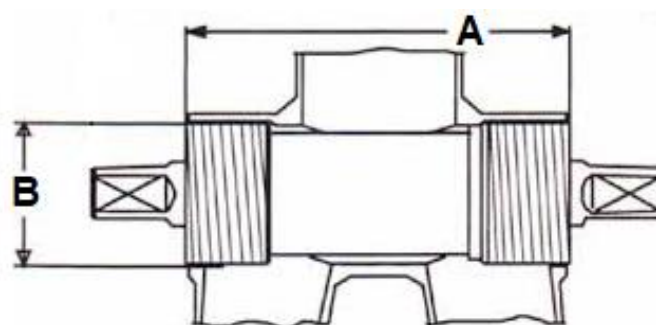


Figura 58: Mides eix pedaler roscat

5.5.6. Altres parts que s'han tingut en compte per un correcte funcionament

- El tub de seient i el seient han d'estar el suficientment separats de la roda del darrera perquè en cas que és facin topalls, és a dir quan s'aprofita tot el recorregut del quadre, aquesta no toqui amb aquestes parts.
- La beina ha de fer una curvatura perquè passi la cadena del plat als pinyons.

- La beina i el tirant no han de ser molt amples (menys de 83 mm) a una distància d'uns 33-34 cm de l'eix de pedaler perquè a l'hora de pedalar els peus no toquin amb el basculant.
- La beina ha de deixar espai suficient perquè entri un plat de 34 dents.
- La beina i el tirant han de deixar prou espai perquè entri una roda de 2,5 polsades i que en cas que aquesta flecti no toqui al quadre. Entre el pneumàtic i el punt més proper del basculant haurien d'haver com a mínim 6 mm.
- La forquilla i el manillar han de poder donar una volta completament al quadre sense que les barres d'aquesta toquin amb el tub oblic.
- El tub superior del quadre ha d'estar el més baix possible per tenir més llibertat de moviments sobre la bicicleta.
- El tub de seient ha de ser el més curt possible per tenir més llibertat de moviments sobre la bicicleta (tenint en compte que és de talla L) i deixar entrar el màxim de tija dintre seu.
- S'han de deixar tots els espais per als rodaments i adaptar el triangle principal i el basculant en aquests punts articulats.
- El quadre ha de tenir uns forats per on passi l'eix de la roda del darrera, així com la forma d'unes mitges circumferències per recolzar la caixa de la roda per una correcta col·locació i subjecció.
- El quadre ha de tenir un suport per al fre de disc de la roda del darrera, així com un suport per a la patilla de canvi.
- S'ha de fer una patilla de canvi específica i que s'adapti a aquest quadre.
- S'han de poder desmuntar l'amortidor i el basculant fàcilment per poder fer els manteniments i facilitar una possible substitució d'alguna peça.
- S'ha de tenir en compte que la roda del davant no toqui amb el tub oblic del quadre al fer topalls amb la forquilla.
- S'ha de tenir en compte que l'amortidor no toqui al quadre durant el seu recorregut.

5.6. Disseny 3D amb Sòlid Works

Per fer el disseny de la bicicleta 3D s'ha fet servir el programa Solid Works. El quadre s'ha construït amb diferents arxius, fent un peça o sòlid per cada part del quadre (triangle principal, bieleta, beina i tirant) i després, s'han assemblet les diferents parts introduint les relacions de posició correctes per saber si encaixaven bé entre elles i no hi havia problemes de dimensionament.

Per respectar els valors dels paràmetres obtinguts en el programa Linkage, s'han fet els croquis del Solid Works amb els punts obtinguts en l'altre programa.

Un cop posats els punts obtinguts en l'altre programa s'ha anat donant la forma de totes les parts del quadre amb les diferents amplades i distàncies que s'han considerat raonables, basats en altres models de quadres d'alumini d'aquesta disciplina. S'han anat respectant totes les parts a les que ens havíem d'adaptar pel que fa a components i correcte funcionament de la bicicleta.

Finalment, s'ha procedit a fer el buidat interior del quadre sempre respectant i tenint en compte quina seria la manera de poder-lo fabricar. S'han buidat els tubs que es fabricarien per extrusió i s'han fet de un sòlid massís les parts que s'obtindrien d'una peça mecanitzada sense extrusions.

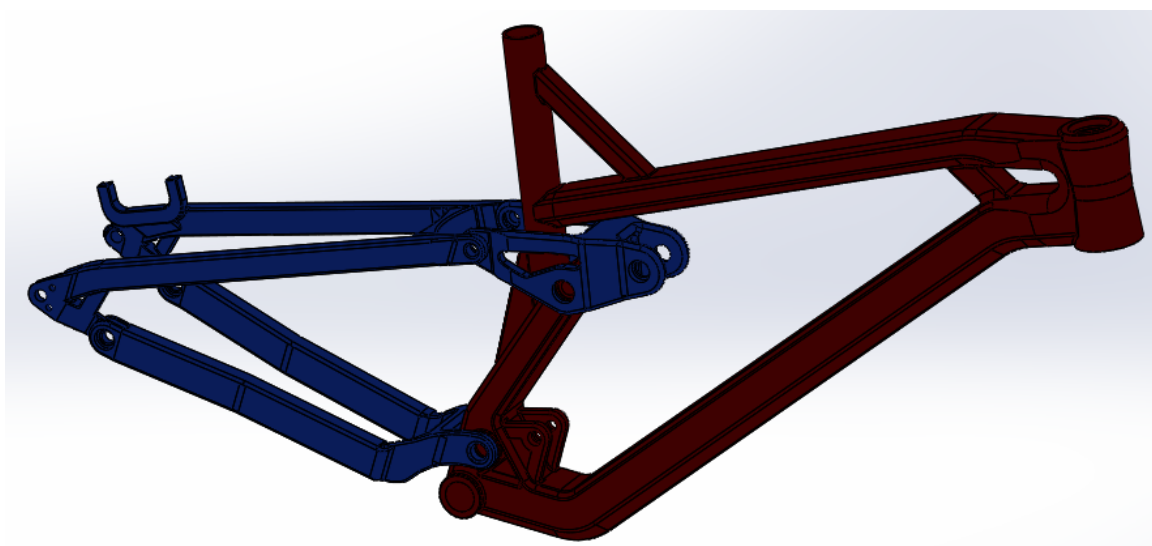


Figura 59: Assemblatge de les quatre parts que integren el quadre amb Solid Works

Massa total del quadre amb alumini 6061 T6

La massa del quadre de la bicicleta (sense coixinets ni cargols). S'ha calculat introduint les característiques del material utilitzat al programa Solid Works.

Beina → 755 grams

Tirant → 830 grams

Triangle principal → 3538 grams

Bieleta → 608 grams

Això fa una massa total d'aproximadament 5,7 kg, bastant lluny dels 3,1-3,3 kg que solen tenir els quadres d'aquests tipus de bicicletes.

5.7. Anàlisi amb elements finits**5.7.1. Criteri utilitzat**

A l'hora de fer l'estudi de la resistència del quadre s'han tingut en compte varis criteris ja que no s'ha trobat una normativa concreta que ha de complir una bicicleta de doble suspensió d'aquestes característiques:

- Per l'estudi del basculant (beina, tirant i bieleta) s'ha utilitzat el criteri de les 5G. Tenint en compte una massa del ciclista d'uns 100 kg (més que suficient per una bicicleta de talla L) i una massa de la bicicleta d'uns 17 kg (pes aproximat de tota la bicicleta), tenim una massa total de 117 kg que multiplicada per $5 \times 9,81$ ens dona una força total de 5739 N. Sabent que aproximadament el pes en una bicicleta es reparteix 70% a la roda del darrera i 30% a la roda del davant, tenim una força total a la roda del darrera de $5739 \times 0,7 = 4017 \approx 4000$ N.
- Per a l'estudi del triangle principal, tindrem en compte les forces de reacció de la bieleta, l'amortidor i la beina sobre aquest, així com dos altres criteris extrets de la normativa UNE EN ISO 4210-6:2014 de requisits de seguretat per bicicleta (mètodes d'assaig de quadres i forquilles).

En el primer s'analitza si el tub de seient és el suficientment rígid i resistent.

Per fer la simulació amb l'ANSYS s'ha aplicat un moment al tub de seient.

Sabent que la força és de 1200 N a una distància h de 250 mm del final del tub de seient i una separació de 70 mm horitzontalment, s'ha aplicat el corresponent moment generat al tub de seient.

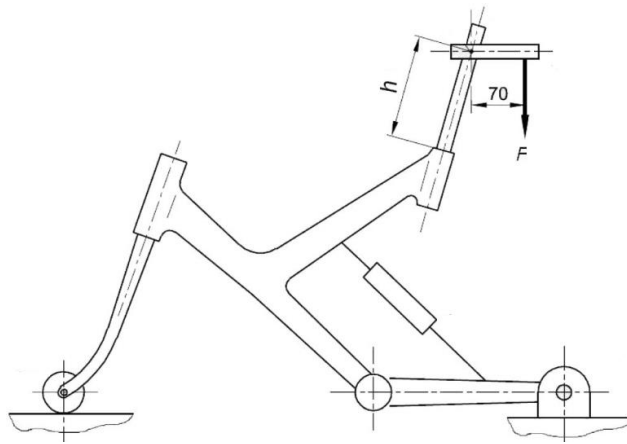


Figura 60: Esquema de l'aplicació de forces al tub de seient

En el segon s'analitza si el tub de direcció és el suficientment rígid i resistent. Per fer la simulació amb l'ANSYS s'ha aplicat un moment al tub de direcció. Sabent que les forces a l'eix de la roda del davant són de 1200 N, s'ha aplicat el corresponent moment generat al tub de direcció.

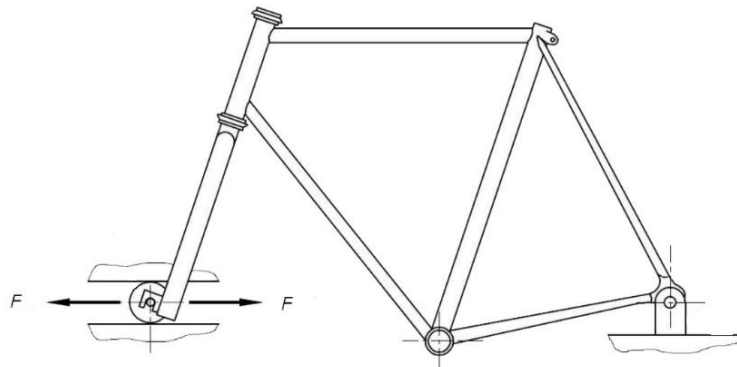


Figura 61: Esquema de l'aplicació de forces al tub de direcció

Per analitzar cada part de la bicicleta s'ha tingut en compte la tensió equivalent de Von Mises i mirar que no superes la del límit elàstic del nostre material (276 MPa).

Pel que fa a la fatiga que sofreix un material com l'alumini, s'ha considerat que aplicant un criteri de 5G ja es té en compte un possible debilitament del material donat que és un esforç bastant per sobre del que se li podria arribar a aplicar en condicions normals d'ús.

També s'ha tingut en compte la deformació total de la peça analitzada ja que una gran deformació influiria en el funcionament de la bicicleta. Hem pres com a referencia d'una deformació a considerar la que supera el mil·límetre, ja que menys deformació no afectaria per res el funcionament.

5.7.2. Forces de reacció pel criteri de les 5G

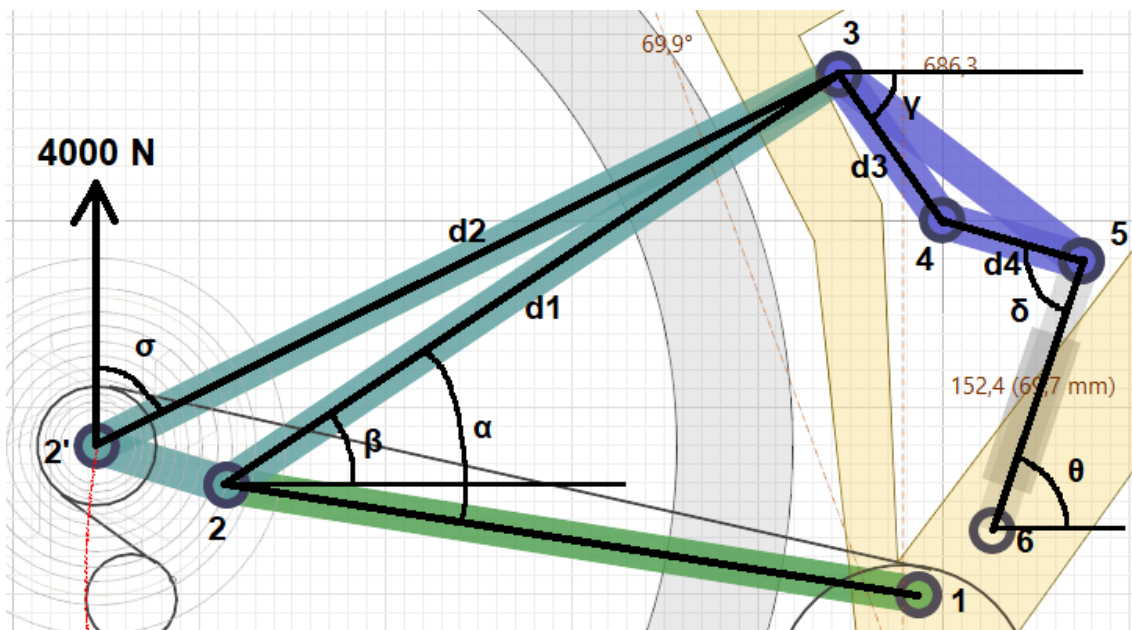


Figura 62: Punts, distàncies, angles i forces utilitzades

Com ja s'ha comentat, no s'ha trobar cap criteri específic per fer l'anàlisi de tot el basculant i no s'ha tingut accés a cap model 3D de quadre d'aquest tipus per poder fer un estudi de la rigidesa d'aquest. Es per això, que s'ha considerat que el criteri de les 5G, utilitzat en alguns estudis de resistència i rigidesa de motocicletes d'enduro, era el millor que se li podia aplicar.

Per fer l'estudi de les forces de reacció hem tingut en compte que l'amortidor està totalment comprimit i actua com una peça rígida. Això s'ha suposat ja que al aplicar-li 4000 N de força vertical a l'eix de la roda del darrera, l'amortidor estarà fent topalls i no es podrà comprimir més. Per un pilot d'uns 100 kg i una bicicleta d'aquestes característiques, l'amortidor normalment fa topall en aplicar-li una força a la roda del darrera d'aproximadament 3000 N. És per això també, que s'ha considerat que un 33% més de força després del moment en que es fan els topalls és una càrrega bastant raonable per fer l'anàlisi d'esforços.

Els càlculs han sigut els següents:

El sumatori de moments del tirant respecte al punt 3 ha de ser igual a 0 ja que el sòlid no està en moviment. Tenint en compte que la beina només fa força en la direcció marcada per les seves dues articulacions:

$$\sum M_3 = 0 \rightarrow 4000 \times d_2 \times \sin(\sigma) = F_2 \times d_1 \times \sin(\alpha) \rightarrow F_2 = 5925,5 \text{ N}$$

$$F_1 = F_2 = 5925,5 \text{ N}$$

Els sumatoris de forces sobre l'eix x i y del tirant ha de ser igual a 0 ja que el sòlid està en repòs.

$$\sum F_x = 0 \rightarrow F_{3x} = -F_2 \times \cos(\alpha - \beta) = 5852,0 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow F_{3y} = -4000 + F_2 \times \sin(\beta - \alpha) = 3069,5 \text{ N}$$

$$F_3 = \sqrt{5852,0^2 + 3069,5^2} = 6608,2 \text{ N}$$

El sumatori de moment respecte el punt 4 ha de ser igual a 0 ja que el sòlid està en repòs.

$$\sum M_4 = 0 \rightarrow 3069,5 \times d_3 \times \cos(\gamma) + 5852,0 \times d_3 \times \sin(\gamma) = F_5 \times d_4 \times \sin(\delta)$$

$$F_5 = 8170,7 \text{ N}$$

$$F_6 = F_5 = 8170,7 \text{ N}$$

Els sumatoris de forces sobre l'eix x i y de la bieleta ha de ser igual a 0 ja que el sòlid està en repòs.

$$\sum F_x = 0 \rightarrow F_{4x} = 5852,0 + F_5 \times \cos(\theta) = 8408,5 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow F_{4y} = 3069,5 + F_5 \times \sin(\theta) = 10830,0 \text{ N}$$

$$F_4 = \sqrt{8408,5^2 + 10830,0^2} = 13711,0 \text{ N}$$

També s'ha fet l'anàlisi amb el programa PAM per comprovar els resultats.

F₁	F₂	F_{2'}	F₃	F₄	F₅	F₆
5925,5 N	5925,5 N	4000 N	6608,2 N	13711,0 N	8170,7 N	8170,7 N

5.7.3. Ansys Workbench

Preparació:

Per fer l'anàlisi d'elements finits hem fet servir el programa Ansys Workbench amb la versió completa de 252000 nodes.

S'ha analitzat el triangle principal, la beina, la bieleta i el tirant per separat ja que així s'ha pogut tenir una major precisió en el mallat de cada part i obtenir uns resultats més verídics.

S'han anat aplicant una per una les forces trobades anteriorment en cada una de les parts de la bicicleta corresponents. S'ha tingut en compte la direcció i sentit correcte d'aplicació de la força en el moment en que es fan els topalls.

S'ha intentat utilitzar el major nombre de nodes possibles en la simulació de cada part per obtenir els millors resultats. Per fer-ho, es feia un mallat general de la peça a estudiar i es feia un primer anàlisi d'esforços. Després, es refinaven els punts on s'acumulaven les tensions més altes intentant utilitzar el major nombre de nodes que permet el programa. Finalment, es tornaven a fer l'anàlisi d'esforços amb la peça ben mallada i els punts crítics refinats, amb una concentració més gran de nodes, perquè donessin uns resultats més pròxims a la realitat. Es considerava que la peça estava ben refinada quan les concentracions de tensió màximes no s'acumulaven en un sol node o element sinó que ho feien en una àrea on hi havia diferents elements.

5.7.3.1. Bieleta

Per fer l'anàlisi de la bieleta s'han tingut en compte les forces que actuen sobre aquesta en el moment que li apliquem 4000 N a la roda del darrera.

Per fer una simulació real primer s'ha fixat el punt 4 i s'han aplicat les forces en el punt 3 i 5 i després s'ha fixat el punt 3 i 5 i s'ha aplicat la força en el punt 4.

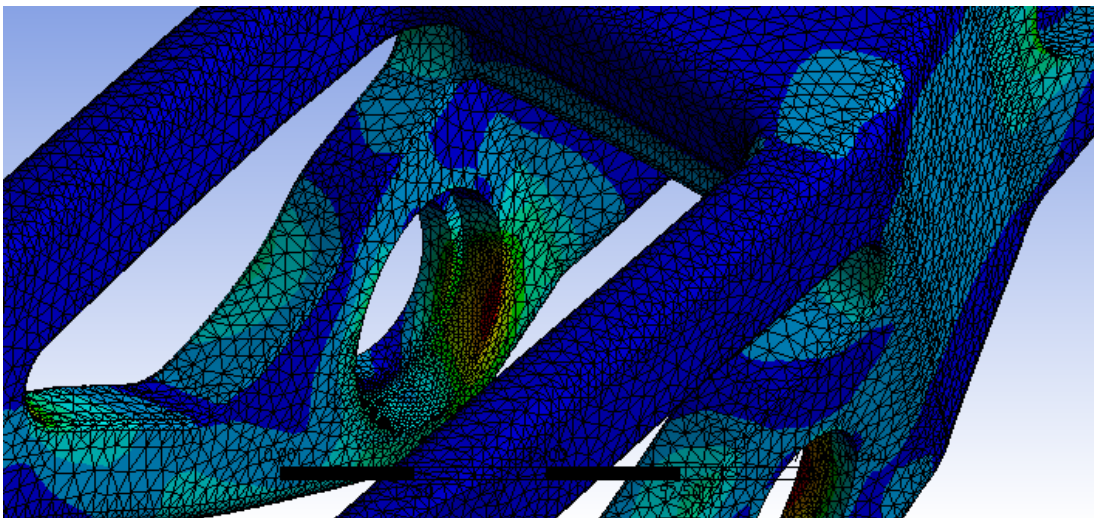


Figura 63: Tensió màxima de 133 MPa en el punt d'articulació 4

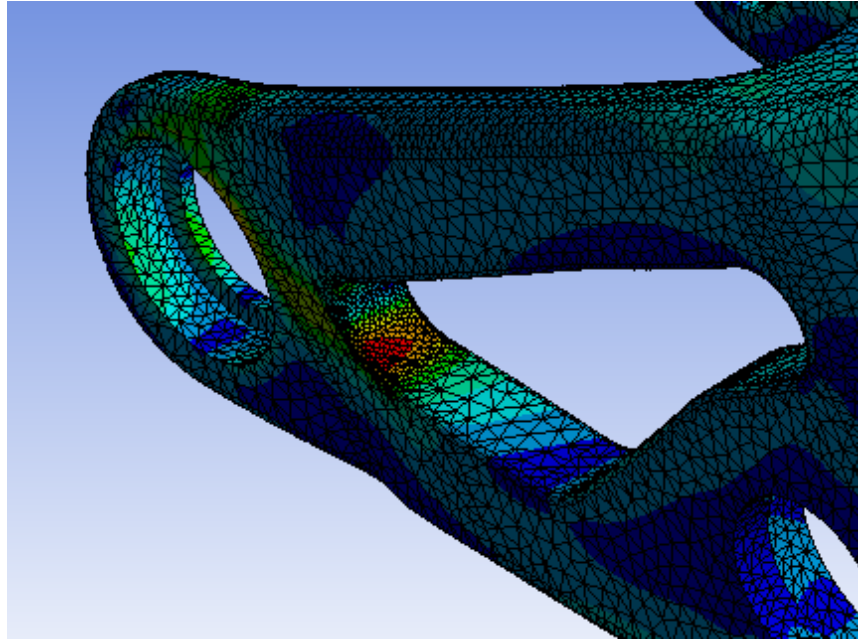


Figura 64: Forat de la bieleta per reduir-ne pes. Tensió màxima de 115 MPa

Els punts de màxima tensió ens han donat 133 i 115 MPa respectivament, Això dona un coeficient de seguretat de la bieleta de 2,1 si es compara amb els 276 MPa del límit elàstic de l'alumini 6061 T6.

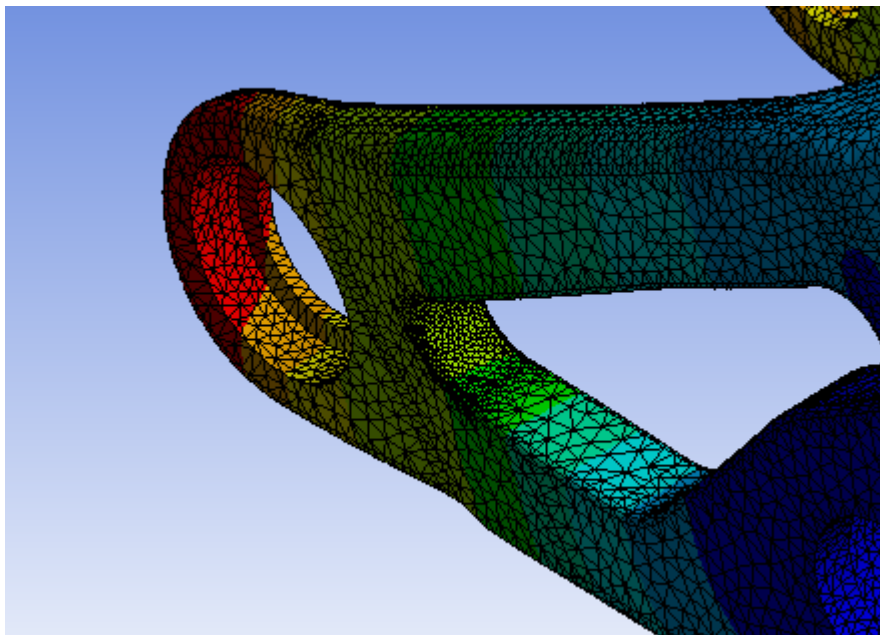


Figura 65: Deformació màxima de 0,2 mm entre el punt articulat 3 i el 4

Pel que fa a la deformació màxima no arribava a les dos dècimes de mil·límetre, un valor molt baix que no ens afecta per a res el funcionament de la bieleta.

5.7.3.2. Tirant

Per fer l'anàlisi del tirant s'ha fet de les tres següents maneres:

Fixant el punt 3 i aplicant la força de la roda i la de la beina, fixant l'eix de la roda i aplicant les forces a 2 i 3 i, per últim, fixant el punt 2 i aplicant les forces a l'eix de la roda i al punt 3. Totes aquestes simulacions s'han fet per aproximar-se el més possible a la realitat i s'ha agafat com a referència el punt on ha donat una tensió més alta. La part de major tensió ha sigut el suport del cargol en el punt 2 amb 198 MPa, això dona un coeficient de seguretat del tirant d'1,4.

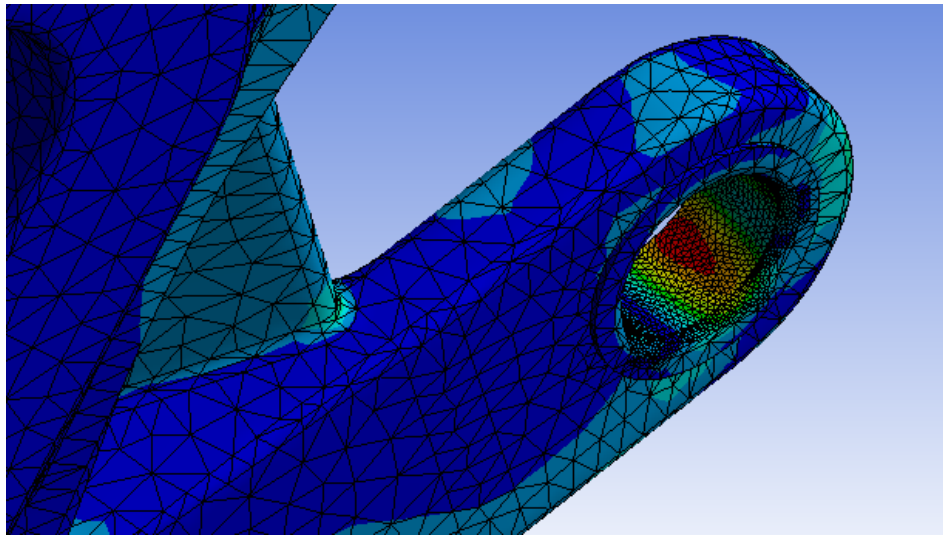


Figura 66: Punt 2. Tensió màxima de 198 MPa pel contacte amb el passador

Pel que fa a les deformacions, entre l'eix de la roda del darrera i el punt 3, el tirant s'escurça uns 2 mm per la flexió d'aquest ja que treballa a compressió. Aquesta deformació es prou considerable tot i que en una peça tant llarga aquest deformació no arriba a l'1%.

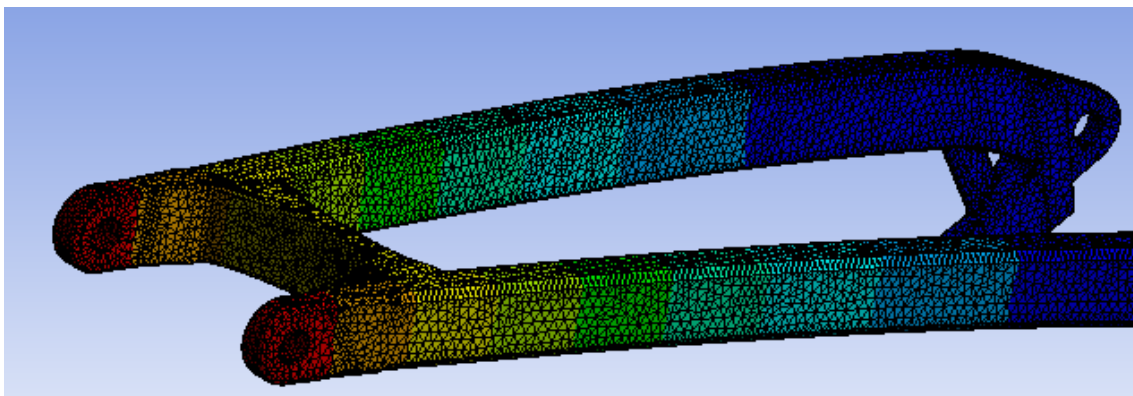


Figura 67: Deformació de 2 mm, per flexió, entre l'eix de la roda i l'articulació 3

5.7.3.3. Beina

Els punts de major tensió són els punts on fa la curvatura per evitar la cadena. Tot i que aquests punts han estat reforçats amb un nervi, arriben a una tensió de 125 MPa, donant així un coeficient de seguretat de la beina de 2,2.

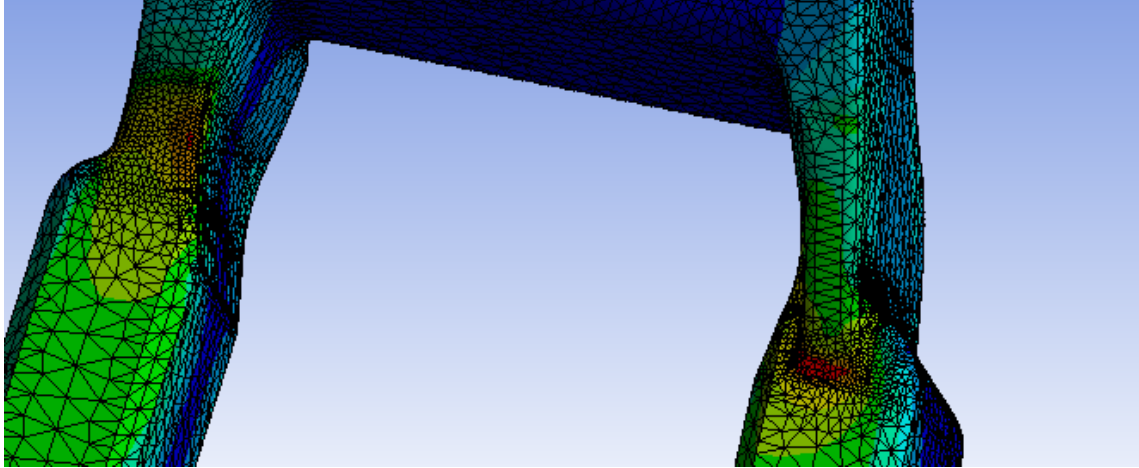


Figura 68: Punt de curvatura de la beina. Tensió màxima de 125 MPa

Pel que fa a la deformació en aquesta peça es té l'inconvenient que té una corba pronunciada entre els seus extrems per evitar que la cadena toqui amb aquesta. En aplicar-li una força considerable de tracció en la direcció marcada pels dos punts articulats que té, això provoca una flexió d'aquesta corba tendint a fer la peça recta. És per això que es té un allargament d'uns 2 mm entre els seus dos extrems. És una deformació força considerable tot i que al ser amb la direcció longitudinal de la peça un allargament de menys de l'1% no suposa un greu inconvenient.

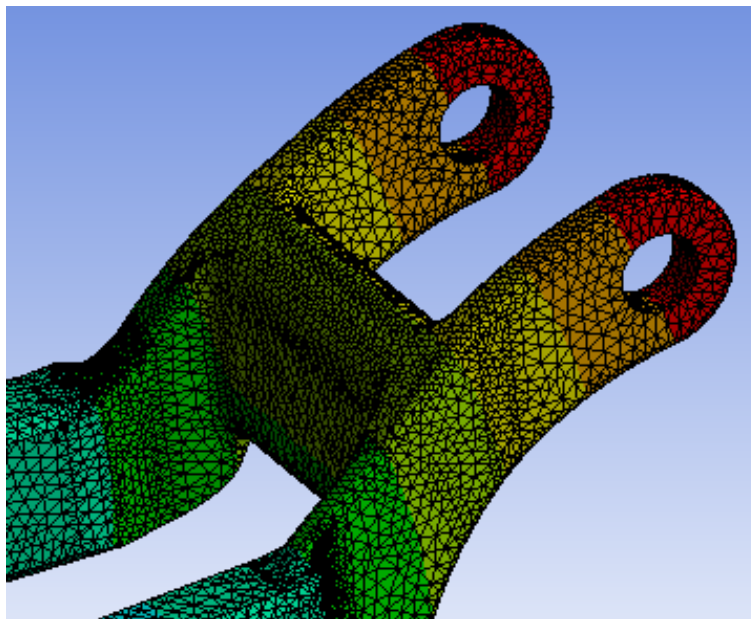


Figura 69: Deformació de 2 mm, per flexió, entre els dos punts articulats

5.7.3.4. Triangle principal

A l'hora de simular les forces del quadre, primer hem simulat les forces de reacció de basculant sobre el quadre en el punt 1, 4 i 6.

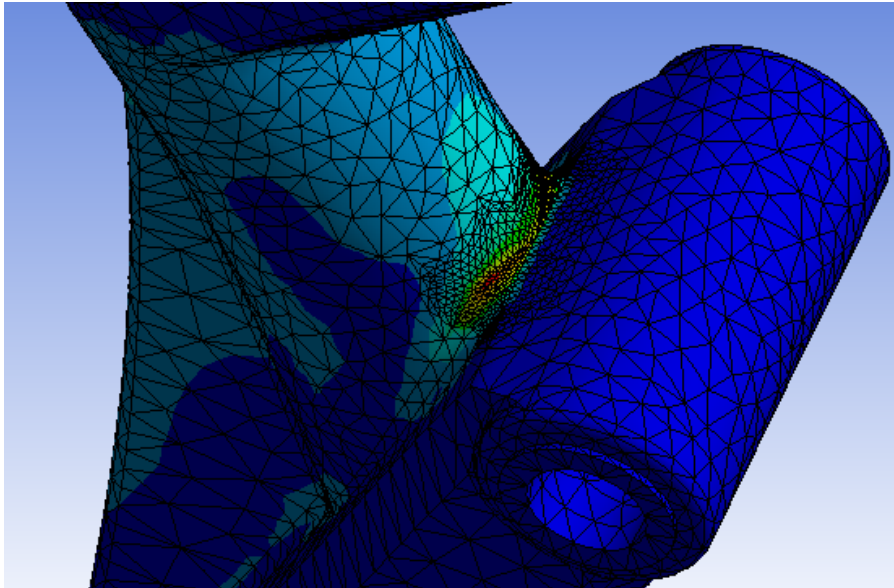


Figura 70: Tensió màxima de 227 MPa

La tensió màxima es genera en la unió del tub de seient amb el suport de la bieleta en el punt 4 i és de 227 MPa, això dona un coeficient de seguretat d'1,2. Les deformacions al quadre són totes de menys de 0,5 mm, és a dir, negligibles.

En segon lloc s'ha simulat el moment que genera la forquilla sobre el tub de direcció. Aplicant una força horitzontal sobre l'eix de la roda del davant de 1200 N (en els dos sentits) i sabent la llargada de la forquilla i la del tub de direcció (distància que separa el rodament superior de l'inferior) hem generat el moment equivalent en aquest.

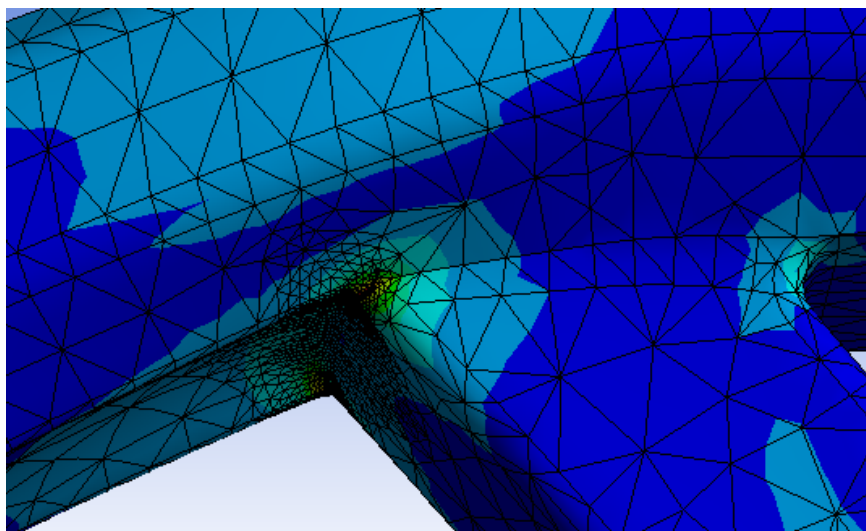


Figura 71: Tensió màxima de 180 MPa

En les dues simulacions (una aplicant la força cap a l'esquerra i l'altra cap a la dreta), s'ha generat una tensió exactament igual i concentrada en el mateix punt. La tensió màxima resultant ha estat de 180 MPa a la unió entre el tub superior i el reforç que va del tub oblic a aquest. En aquesta part, per tant, es tindrà un coeficient de seguretat d'1,5. Pel que fa als desplaçaments tots han resultat ser inferiors a 0,5 mm, és a dir, negligibles.

Per últim s'ha simulat la força que s'aplica sobre el tub de seient generada pel pes del ciclista sobre el seient. Els punts més crítics han estat la unió entre el tub de seient i el reforç triangular que el suporta així com el reforç que va del tub superior al tub de seient.

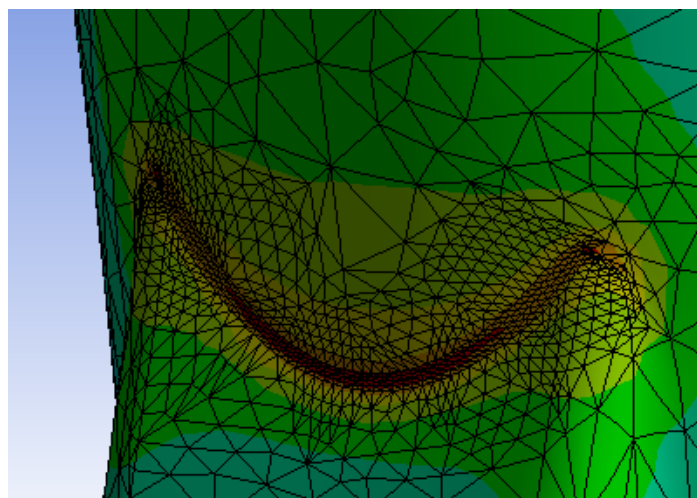


Figura 72: Tensió màxima de 115 MPa

La tensió total acumulada en aquests dos punts ha sigut d'uns 115 MPa en ambdós casos, per tant, el coeficient de seguretat serà de 2,4.

Pel que fa la deformació màxima és de 0,7 mm, pràcticament negligible, i es produeix a l'extrem superior del tub de seient.

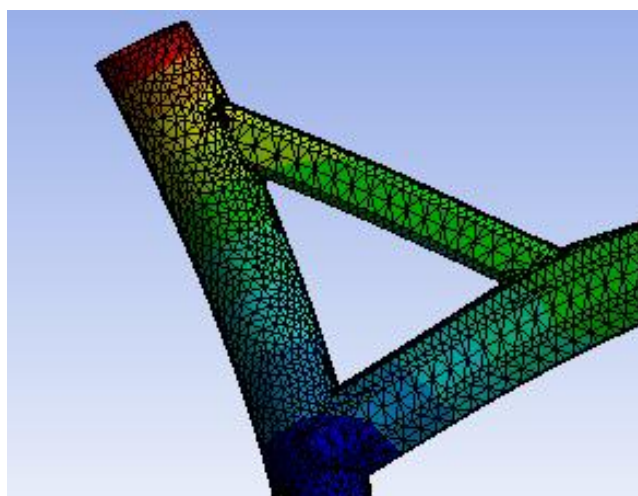


Figura 73: Deformació màxima de 0,7 mm a l'extrem del tub de seient

Fent l'estudi aplicant les forces de reacció del basculant i les de reacció de la forquilla en el mateix moment (la del seient no l'apliquem ja que quan estàs en una situació extrem com aquesta estàs dret sobre els pedals i no assegut al seient), ens queda com a punt crític el mateix que havíem trobat amb l'estudi de només les forces d'enllaç del basculant i pràcticament amb la mateixa tensió que abans. Això ens indica que els esforços generats per l'enllaç de la forquilla i els generats per l'enllaç del basculant són força independents i no provoquen concentracions de tensions als mateixos llocs.

En canvi, si que hem vist una força pujada de tensió si apliquem en el mateix moment la força generada pel seient i la generada per la roda del darrera però, com ja hem explicat aquesta situació no seria realista ja que en una situació límit com la que s'analitza el pilot mai va assegut al seient. Finalment, comentar que ens queda un coeficient de seguretat del triangle principal de 1,2 si es considera la tensió màxima de 227 MPa que s'havia trobat en el punt que uneix el tub de seient amb el suport de la bieleta. Al haver una gran diferència pel que fa a coeficients de seguretat entre aquest punt i la resta de la bicicleta és podria mirar de reforçar-lo. Aquest és un punt crític susceptible a possibles fissures o trencaments i si es reforçés, quedaria una bicicleta molt més resistent. Tot i això, la bicicleta segueix complint amb els requisits que se li exigeixen.

Com s'ha vist, la bicicleta ha passat els tests que se li demanaven ja que després de fer unes quantes simulacions prèvies i reforçar el punts crítics que estaven per sota d'un coeficient de seguretat d'1, se li ha aconseguit donar la resistència i rigidesa desitjada. Com a resultat final, només dir que no hi ha cap coeficient de seguretat per sota d'1 (el mínim és 1,2) ni tampoc cap deformació per sobre del 2% (la màxima és de l'1%). La part negativa d'aquest model és que no s'ha acabat de rebaixar el pes a les parts que patien menys tensions i deformacions. Aquest procediment s'hauria de dur a terme tenint en compte els resultats obtinguts i mirant de rebaixar el pes de les parts que pateixen menys tensions. També s'hauria d'anar en compte amb la rigidesa de la bicicleta evitant que es reduís i que es produeixin grans deformacions que afectessin el funcionament i geometria del quadre.

5.8. Resultat final

Finalment, s'han fet uns renders de la bicicleta amb el programa Keyshot.

S'han pintat i donat textures als components de la manera més semblants possibles a la realitat.

Pel que fa al quadre, s'ha donat la textura de l'alumini i la pintura que se li aplicarà per sobre i s'ha pintat del color que han semblat més adequats a l'hora de fer-la atractiva per un possible comprador. En aquest cas s'ha escollit el color taronja, molt de moda en les bicicletes actualment, per al triangle principal, beina i tirant. La bicicleta s'ha pintat de color negre metal·litzat per trencar amb la monotonia del taronja. Finalment, s'ha aportat detalls a la bicicleta de color blau per combinar amb el taronja del quadre.



Figura 74: Resultat final de la bicicleta. Vista isomètrica



Figura 75: Resultat final de la bicicleta. Vista de la part del davant



Figura 76: Resultat final. Vista de la part de dalt

6. Planificació

Aquest treball es va començar a finals d'Agost i s'ha acabat a principis de Gener.

S'ha anat seguint l'ordre previst tot i que com el disseny d'una bicicleta és un procés iteratiu, durant el projecte s'ha anat tornant a fases prèvies per millorar-les o recopilar més informació.

Setmana	27/8/2018	3/9/2018	10/9/2018	17/9/2018	24/9/2018	1/10/2018	8/10/2018	15/10/2018	22/10/2018	29/10/2018	5/11/2018	12/11/2018	19/11/2018	26/11/2018	3/12/2018	10/12/2018	17/12/2018	24/12/2018	31/12/2018	7/1/2019
Planificació																				
Recerca																				
Dissseny conceptual																				
Disseny 3D																				
Anàlisi amb elements finits																				
Documentació																				

7. Impacte ambiental

En aquest treball es pot dividir l'impacte ambiental en dues parts: l'obtenció i fabricació de l'alumini, i la funcionalitat de la bicicleta.

Pel que fa a la fabricació, s'ha de tenir en compte que per donar-li les diferents formes a l'alumini, se l'ha de tenir en estat líquid. Aquest procés requereix menys energia que si es fes amb acer ja que el punt de fusió de l'alumini és més baix. Tot i això, a l'hora de l'obtenció del material, el procés per obtenir l'alumini té una despesa energètica 3 cops més gran que la de l'acer.

Per obtenir 2 tones d'alumini directament de la bauxita es generen:

- 1,3 tones de fang amb metalls pesants.
- 60 kg de diòxid de sofre (gas causant de la pluja àcida)
- 4.000.000 m³ de fluoramina (gas irritant, tòxic per a les plantes i que produeix alteracions als ossos, les dents, els ronyons i els cabells)

Per fabricar un quadre com el dissenyat es necessitarien aproximadament 10 kg d'alumini, ja que normalment una part d'aquest es desaprofita en el procés de fabricació en forma de ferritja o retalls no útils. És a dir, que per a obtenir l'alumini necessari per construir un quadre com el dissenyat, es generaran:

- 6,5 kg de fang amb metalls pesants
- 0,3 kg de diòxid de sofre
- 20.000 m³ de fluoramina

Pel que fa a la despesa energètica, l'obtenció d'alumini necessita 15.000 kWh per cada tona. Això implica que per obtenir l'alumini necessari per fabricar el quadre es necessitarien 150 kWh.

També s'ha de tenir en compte que l'alumini és un material reciclable ja que es pot tornar a fondre i donar-li una nova vida útil. La part positiva d'aquest material es que no perd les seves propietats ni disminueix la seva qualitat ja que no s'altera pel contacte amb l'aigua o l'aire.

Els càlculs anterior s'havien fet tenint en compte que l'alumini s'extreia directament del mineral de la bauxita, és a dir, de la seva matèria primera. No obstant, també es pot obtenir d'alumini reciclat i en aquest cas passa a ser un procés molt menys contaminant i que requereix de molta menys energia. Per obtenir alumini a partir d'aquest mateix material ja reciclat, només és necessiten 580 kWh per tona, és a dir, que per al quadre dissenyat solament es necessitarien 5,8 kWh. Això suposa només un 4% de l'energia que es necessitaria per obtenint el material directament del mineral de la bauxita. És per això, que s'ha de posar més èmfasi en el reciclatge de l'alumini ja que suposa un gran estalvi energètic i una gran reducció de residus contaminants.

Pel que fa al disseny d'una bicicleta d'enduro, amb aquesta es fomenta l'ús d'un vehicle 100% lliure d'emissions de gasos contaminants. Tot i que aquesta bicicleta no seria la més idònia per utilitzar com a transport urbà, si que s'està fomentant l'ús de la bicicleta com a esport recreatiu. Enlloc de practicar altres tipus d'esports de dues rodes, que comportin un cert risc i adrenalina, com podria ser l'enduro amb motocicleta o el motocròs, la bicicleta és molt més respectuosa amb el medi ambient i no causa tants d'estralls a la flora i la fauna de la zona per on es practica.

8. Pressupost

En aquest pressupost només s'ha comptabilitzat la part de disseny de la bicicleta, és a dir, no s'ha tingut en compte tot el procés de fabricació ni el preu dels diferents materials i components.

	Cost (€/h)	Hores (h)	Preu (€)
Recerca	30	40	1200
Disseny conceptual (Linkage)	80	50	4000
Disseny CAD (Solid Works)	20	240	4800
Anàlisi elements finits (Ansys Workbench)	60	35	2100
Documentació	30	50	1500
Llicència Linkage (Compra de la llicència)			27
Llicència Solid Works (Lloguer llicència)			250
Llicència Ansys Workbench (lloguer llicència)			180
Llicència Keyshot (lloguer llicència)			50
TOTAL		415	14.107

Conclusions

El resultat final d'aquest treball ha estat el disseny complet d'un quadre d'enduro perfectament funcional. La geometria i cinemàtica estan marcades per la tendència de les bicicletes actuals, obtenint com a resultat una bicicleta més radical i eficient que la gran majoria. A continuació, es mostra una taula amb els valors desitjats i els valors obtinguts en la bicicleta dissenyada.

	Objectiu	Rang vàlid	Valor obtingut
Anti-squad (al 25% de SAG, amb plat de 32 dents i tots els pinyons)	100%	120-70%	102,4-94,6%
Leverage ratio (progressivitat)	30%	15-50%	25%
Leverage ratio mitjà	2,3	Menys de 2,5	2,3
Anti-rise (al 25% de SAG)	25 %	0-50%	27-49%
Retrocés de pedal màxim (al 25 % de SAG i plat de 32 dents)	Menys de 18 graus	Menys de 25 graus	20,5 graus
Reach	490 mm	480-500 mm	487,3 mm
Angle d'atac	64 graus	63,5-64,5 graus	64 graus
Angle efectiu de seient	77 graus	75-78 graus	76,5 graus
Longitud del tub de seient	470 mm	460-490 mm	469 mm
Longitud de tija que es pot introduir en el quadre	240 mm	Més de 220 mm	230 mm
Chainstay	432 mm	Menys de 440 mm	439,3 mm
Alçada de l'eix de pedaler	340 mm	338-345 mm	340,9 mm
Distància entre eixos (Wheelbase)	1270 mm	1250-1280 mm	1273,7 mm
Massa	3,5 kg	Menys de 4 kg	5,7 kg
Resistència (coeficient de seguretat)	3	Més d'1	1,2
Rígidesa (% deformació)	Menys de l'1%	Menys del 2%	1%

Com es pot observar, s'han obtingut tots els valors geomètrics, cinemàtics, de resistència i de rigidesa dintre del rang establert. L'únic paràmetre que no ha complert amb el valor desitjat ha estat la massa de la bicicleta, que ha sigut aproximadament un 40% més elevat que el màxim permès.

A continuació s'expliquen les diferents coses que s'haurien de millorar o afegir en un futur projecte:

Rebaixar el pes de la bicicleta: El quadre resultant ha estat aproximadament un 70% (2,5 kg) més pesat que els quadres d'alumini que hi ha actualment al mercat. Per reduir aquest valor, es duria a terme un procés iteratiu que consistiria en fer més simulacions del quadre i anar rebaixant material de les parts sotmeses a menys tensió, sempre tenint en compte que no es perdi la rigidesa d'aquest.

Fer una ruta de cables per l'interior del quadre: La majoria de bicicleta que hi ha avui en dia al mercat, fan passar els cables de fre i de canvi per l'interior del quadre per evitar que aquests es pincin amb les caigudes o les pedres que poden saltar i per millorar l'estètica d'aquest. És per això, que per millorar aquest model s'haurien de fer passar els cables per tot el tub inferior del quadre i després per l'interior de la beina fins arribar al suport del fre o a la patilla del canvi.

Possibilitat de canvi de geometria: Algunes bicicletes actuals, porten un suport excèntric a l'ancoratge de l'amortidor per poder col·locar-lo en diferents posicions i d'aquesta manera canviar la geometria i la progressivitat de la bicicleta. Aquest afegit es interessant ja que permet poder adaptar més la bicicleta als gustos i necessitats de cada corredor.

Cargols, passadors i volanderes; En aquest model, s'han adaptat totes les zones d'unió entre les diferents parts del basculant per poder instal·lar els coixinets adequats però, no s'ha acabat de concretar quin tipus de cargols, passadors i volanderes s'utilitzarien.

Ancoratge guia cadenes i bidó d'aigua: Algunes de les bicicletes d'enduro actuals porten un guia cadenes subjectat al quadre. Aquesta unió es fa mitjançant tres cargols que tenen la seva femella en el quadre al voltant de l'eix de pedaler. Per adaptar el model a un possible guia cadenes s'haurien de ficar aquestes tres rosques al quadre. Pel que fa a l'ancoratge d'un possible bidó d'aigua només caldria fer dos forats roscat al tub oblic del quadre tenint en compte que no toqui amb l'amortidor.

Agraïments

En primer lloc, he d'agrair al tutor d'aquest treball, Emilio Angulo, per tot el temps invertit en les reunions de seguiment. Amb els consells que m'ha donat de com enfocar el treball i les pautes que havia d'anar seguint ha sigut molt més fàcil arribar a l'objectiu que tenia marcat.

En segon lloc, m'agradaria esmentar a Ferran Alguero, un company estudiant d'Elisava, que m'ha ajudat molt a l'hora de fer els renders i donar-li una imatge més real a la bicicleta. Sense els seus coneixements del programa Keyshot no hagués pogut treure una imatge tan real de la bicicleta.

També m'agradaria donar les gracies a tots els companys i amics que m'han deixat les seves bicicleta per provar-les i prendre mides de les diferents parts. Sense tota aquesta informació no hauria pogut tirar endavant el treball.

Finalment, m'agradaria agrair al departament de resistència de materials de l'ETSEIB per deixar-me accedir als ordinadors del laboratori, i així poder treballar amb la versió completa del programa ANSYS Workbench

Bibliografia

Referències bibliogràfiques

1. Parts i components d'una bicicleta de muntanya. [en línia]
<https://www.mtberos.com/threads/partes-basicas-de-una-bicicleta-de-montana-mtb-btt.445/>
2. Paràmetres característics de les suspensions posteriors. [en línia]
<http://es.scribd.com/doc/37144115/Teoria-Suspensiones-Bicicletes-Analisis-Trayectorias>
3. Tipus de sistemes de suspensió. [en línia]
<https://www.bikingpoint.es/blog/que-sistemas-de-suspension-hay/>
4. Anàlisi dels sistemes de suspensió. [en línia]
<http://linkagedesign.blogspot.com>
5. Soldadura TIG. [en línia]
https://ca.wikipedia.org/wiki/Soldadura_TIG
6. Hidroformació. [en línia]
<http://en.wikipedia.org/wiki/Hydroforming>
7. Elecció material. [en línia]
<http://www.matweb.com>
8. Rodaments bicicleta. [en línia]
<http://www.skf.com/es>
9. Amortidor i forquilla. [en línia]
<https://www.ridefox.com>
10. Direcció. [en línia]
<https://www.emeb.es/direcciones-tipos-y-medidas/>
11. Criteris utilitzats. [en línia]
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70701/fichero/ANEXO+I.pdf>

Bibliografia complementària

Revistes, blogs i botigues on s'ha trobat informació rellevant:

<http://www.alotrolado-mtb.com/>

<http://www.foromtb.com>

<https://www.pinkbike.com>

<https://www.mountainbike.es/>

<http://www.chainreactioncycles.com/>